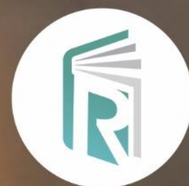
Organizador
Sérgio Campos

A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E SEUS IMPACTOS

Vol. 01

Curitiba
EDITORA REFLEXÃO ACADÊMICA
2021



Organizador
Sérgio Campos



A gestão de recursos hídricos e seus impactos

Vol.01

Curitiba
2021

Editora-Chefe: Profa. Msc. Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan
Diagramação: Lorena Simoni
Edição de Arte: Lorena Simoni
Revisão: O Autor



Reflexão Acadêmica
editora

Ano 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C357a	Campos, Sérgio A gestão de recursos hídricos e seus impactos**/** Sérgio Campos. Curitiba: Editora Reflexão Acadêmica, 2021. 211 p. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui: Bibliografia ISBN: 978-65-993561-9-3 1. Recursos Hídricos. 2.Água I. Campos, Sérgio. II. Título.

Editora Reflexão Acadêmica
Curitiba – Paraná – Brasil
1contato@reflexaoacademica.com.br



Reflexão Acadêmica
editora

Ano 2021

AUTOR



Sérgio Campos - Possui graduação em Agronomia em 1977 pela Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu – FCMBB, atualmente Universidade Estadual Paulista – UNESP, Especialização em 1980 pela Univers0idade Estadual Paulista/UNESP, mestrado e doutorado em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, respectivamente em 1985 e 1995, Livre-Docência em 1997 pela Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu. Atualmente é Professor Titular da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, desde 2010.

CO-AUTORES

Yara Manfrin Garcia: Possui graduação em Geografia pela UNESP – Presidente Prudente – SP (2010), Mestrado em Agronomia (2014), doutorado em Agronomia (2017) e Pós-Doc em Agronomia (2020) na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho UNESP/FCA/Câmpus de Botucatu.

Gabriel Rondina Pupo da Silvaira: Possui graduação em Agronomia pela UNESP – Botucatu – SP (2019), Mestrado em Agronmia (2016), doutorado em Agronomia (2013) e Pós-Doc em Agronomia (2020) pelo Programa Energia na Agricultura na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho UNESP/FCA/Câmpus de Botucatu.

Marcelo Campos: Possui graduação em Licenciatura Plena e Bacharelado em Física, respectivamente em 2006 e 2007 pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), onde também concluiu o Mestrado em Física (2009) e Doutorado em Ciências (2013). Realizou Pós-Doutorado na Embrapa Instrumentação, São Carlos-SP em 2014 e atualmente é Professor Doutor na Faculdade de Ciências e Engenharia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Tupã, desde janeiro de 2015.

Felipe de Souza Nogueira Tagiarini: Possui graduação em Engenharia Florestal pela UNESP – Botucatu, SP (2014). Mestrado em Agronomia (1998), doutorado em Agronomia (2020) – pelo programa Energia na Agricultura na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho UNESP/FCAV/ Câmpus de Botucatu.

APRESENTAÇÃO

O livro "**A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E SEUS IMPACTOS"** é uma obra que tem por finalidade a discussão científica de trabalhos que foram resultados de pesquisas desenvolvidas principalmente pelos docentes e discentes que compõem os grupos de pesquisas "Grupo de Estudos e Pesquisas em Geotecnologia, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Topografia – GEPEGEO" e "Grupo de Pesquisas Avançadas em Inteligência Artificial no Setor Agroflorestal - LINEAR, cadastrados junto ao CNPQ.

Os artigos científicos que compõem esse livro foram resultados obtidos por docentes e discentes de Programa de Pós-Graduação em Agronomia Stricto Sensu, da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP/Botucatu (SP), reconhecidos pela CAPES e profissionais da área de Ciências Agrárias.

A crescente demanda dos recursos naturais, faz-se necessário estudos e planejamentos que maximizem a manutenção desses recursos hídricos.

A deterioração dos recursos naturais, principalmente solo e água, cresce assustadoramente, atingindo níveis críticos, provocando o assoreamento e a poluição dos cursos e dos espelhos d'água, com prejuízo à saúde dos seres vivos; na destruição de estradas, pontes e bueiros; na geração de energia; na disponibilidade de água para irrigação e abastecimento; na redução da produtividade agrícola; na diminuição da renda líquida e, consequentemente, no empobrecimento do meio rural, com reflexos danosos para a economia nacional.

O planejamento do uso da terra vem se tornando cada vez mais uma importante atividade para os meios rural e urbano. Nesse sentido, o uso adequado da terra, de maneira a protegê-la contra a erosão e visando aumentar gradativamente a sua capacidade produtiva, requer sempre um planejamento inicial, efetivo e eficiente.

Nesse contexto, surgiu a agricultura de precisão, que utilizam os mapas criados a partir de dados do sensoriamento remoto e de SIG's, havendo a necessidade de atualização constante dos registros de uso da terra, para que as tendências sejam analisadas e utilizadas de forma mais técnica, adequada e racional possível.

Assim, para que se possa estruturar e viabilizar um planejamento e a implementação de uma política agrícola adequada há necessidade de se ter informações confiáveis e atualizadas referentes ao uso e ocupação da terra atual.

Portanto, esse livro contém trabalhos de pesquisa sobre a discriminação, mapeamento e quantificação do uso do solo, área de preservação permanente, fragilidade ambiental, etc., que visam o prolongamento da capacidade produtiva, a racionalidade no uso e a conservação das terras, principalmente de bacias hidrográficas através de Sistemas de Informações Geográficas - SIG, pois essas

geotecnologias permitem obter resultados com maior agilidade quanto à integração e manipulação dos dados.

Boa Leitura!

Sérgio Campos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01

TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA CARACTERIZAÇÃO DE APPS NUMA MICROBACIA, EM FUNÇÃO DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Gabriel Rondina Pupo da Silveira
Faculdade de Ciências e Engenharia – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: gabrielrondina@hotmail.br

Yara Manfrin Garcia
Faculdade de Ciências e Engenharia – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: yaramanfrin@hotmail.br

Mariana de Campos
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: marianacampos03@unesp.br

Marcelo Campos
Faculdade de Ciências e Engenharias – UNESP – Tupã, SP
E-mail: marcelo.campos28@unesp.br

Resumo: Esse trabalho objetivou a utilização de técnicas de geoprocessamento na discriminação de classes de uso e ocupação do solo em áreas de APP, permitindo a constatação de futuras intervenções antrópicas que auxiliarão em fiscalizações ambientais. A microbacia com183,19ha, situa-se entre as coordenadas geográficas 22º44’ 41” a 22º 45’ 41” de latitude S e 48º24’ 13” a 48º 25’ 01” de longitude WGr. A base cartográfica utilizadas foi a carta topográfica de Botucatu para o georreferenciamento da imagem de satélite de 2008. O SIG-IDRISI Selva foi utilizado na classificação supervisionada e a determinação dos mapas temáticos. O uso da terra mostrou que a pastagem ocupa a maior parte da área (85,61%), mostrando com isso a predominância da pecuária regional. A imagem de satélite e a utilização do SIG mostraram-se importantes ferramentas, fornecendo resultados confiáveis num pequeno intervalo de tempo. Os dados obtidos auxiliarão nos futuros planejamentos de recuperação da microbacia, possibilitando verificar que a área não vem sendo ambientalmente preservada, pois a mesma apresenta somente 14,38% de vegetação e água, sendo que o mínimo exigido pela legislação do Código Florestal Brasileiro vigente é de 20%.

Palavras-chave: Legislação ambiental, sistema de informação geográfica, preservação ambiental.

Abstract: This work aimed at the use of geoprocessing techniques in the discrimination of classes of land use and occupation in areas of PPA, allowing

the confirmation of future anthropogenic interventions that will aid in environmental inspections. The microbasin with 183.19 ha lies between the geographic coordinates 22º44' 41"at 22º45' 41" latitude S and 48º 24' 13"at 48º 25' 01" WGr longitude. The cartographic base used was the Botucatu topographic chart for the georeferencing of the satellite image of 2008. The SIG-IDRISI Selva was used in the supervised classification and the determination of thematic maps. Land use showed thatasture occupies most of the area (85.61%), thus showing the predominance of regional livestock. Satellite imagery and the use of GIS have proved to be important tools, pro\viding reliable results in a short time. The data obtained will aid in the future recovery planning of the microbasin, making it possible to verify that the area is not environmentally preserved, since it presents only 14.38% of vegetation and water, and the minimum required by the Brazilian Forestry Code is of 20%.

Keywords: Environmental legislation, geographical information system, environmental preservation.

1. INTRODUÇÃO

A ação antrópica desordenada no meio ambiente vem causando um intenso desgaste e destruição dos sistemas naturais e como consequência provoca a desertificação, a contaminação dos recursos hídricos, o esgotamento dos recursos do solo, a diminuição da diversidade ecológica, entre outros problemas de degradação das áreas.

O alto crescimento do desmatamento das florestas tropicais e de seu impacto na biodiversidade do Planeta, permitiram a criação da lei das áreas de preservação permanente (APP’s) com o objetivo de evitar a degradação do ecossistema, promover a conservação do ambiente natural e a manutenção da qualidade de vida (Costa et al., 1996).Essas áreas relacionadas à declividade, topos de morros, margens dos recursos hídricos e nascentes dos mananciais, não têm sido devidamente respeitadas, devido ao uso inadequado dos recursos naturais, solos férteis e florestas nativas remanescentes foram intensamente reduzidos na maioria das APP’s, pelo desconhecimento da população e por sua incorreta interpretação do Código Florestal (BRASIL, 1965).

As áreas de preservação permanente visam à proteção do meio ambiente na sua forma natural, através da delimitação das áreas impróprias para o uso da terra, a fim de manter a cobertura vegetal original, a qual é responsável pela atenuação dos efeitos erosivos, a lixiviação dos nutrientes no solo e o assoreamento, além de ser benéfica para regularização da vazão dos cursos d`água em benefício da fauna silvestre (SILVA, 1996).

O modelo socioeconômico atual do desenvolvimento urbano apresenta permanente conflito com o meio ambiente pela ausência de uma ocupação planejada. Assim, o conhecimento das áreas de uso de uma determinada região, além de possibilitar o direcionamento adequado do tipo de manejo, permite identificar possíveis problemas acarretados pelo efeito das ações antrópicas sobre essas regiões, tendo relação direta com a conservação e a exploração sustentável dos recursos naturais.

Da mesma forma que o planejamento adequado da terra deve ser realizado constantemente para que a degradação não ocorra ou, ao menos,

seja diminuída ao longo dessas áreas, principalmente das APP's.A gestão ambiental, uma das principais dificuldades mostra que a falta de uma fonte de dados com informações básicas da paisagem são necessárias em projetos ambientais, especialmente para realização da recomposição de áreas degradadas, servindo de auxílio ao manejo e à conservação do solo e da água nas microbacias.

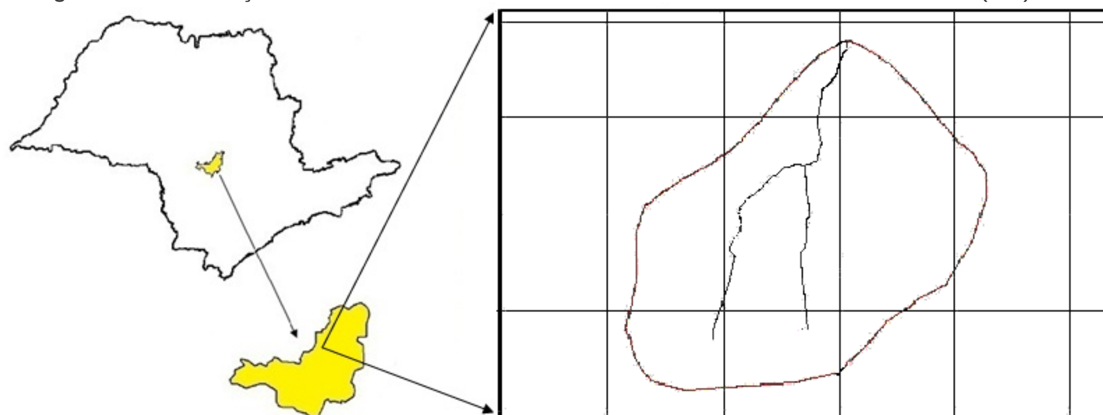
A incorporação dessas informações provenientes de sensores remotos orbitais aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aliada à eficaz capacidade de processamento, análise e manipulação que estes oferecem, torna-se importante na possibilidade da verificação de áreas restritas impostas pelo Código Florestal, suas irregularidades e a possibilidade de recuperação.

Dessa forma, esse trabalho visou a utilização de técnicas de geoprocessamento na coleta de dados e na discriminação do uso e ocupação do solo em áreas de APP, permitindo a discriminação de possíveis intervenções antrópicas e contribuição para futuras fiscalizações ambientais, de acordo com a Lei Federal N° 4.771, de 1965 que instituiu o Código Florestal Brasileiro (BRASIL,1965) e as resoluções CONAMA (2002).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na microbacia do Ribeirão da Fazenda Barreiro, situada no município de Botucatu, com uma área de 183,19ha, e sua situação geográfica é definida pelas coordenadas: Latitude 22º 44' 41" a 22º 45' 41" S e Longitudes 48º 24' 13" a 48º 25' 01" WGr (Figura 1).

Figura 1: Localização da microbacia do Ribeirão da Fazenda Barreiro, Botucatu (SP).



Fonte: Os autores

Os solos ocorrentes na área foram classificados como (PIROLI, 2002): LVdf -Latossolo Vermelho distroférrico e NVdf –Nitossolo Vermelho distroférrico.

A digitalização do limite da microbacia do Ribeirão da Fazenda Barreiro – Botucatu (SP) foi realizada pelo módulo de digitalização (digitalize) no IDRISI, utilizando-se da Carta Planialtimétrica em formato digital editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –IBGE (1969).

A delimitação de uma microbacia é dada pelas linhas divisoras de água que demarcam seu contorno. Estas linhas são definidas pela conformação das curvas de nível presentes nas cartas topográficas, determinadas pelos pontos mais elevados da região em torno da drenagem (ARGENTO; CRUZ, 1996).

O processo de georreferência consistiu na identificação das coordenadas dos pontos de controle de tela na imagem de satélite e na carta topográfica de Botucatu. Essas informações geraram um arquivo de correspondência pelo módulo Data Entry/Edit, com as coordenadas X e Y de tela e seus correspondentes através do módulo Reformat/Resample.

Inicialmente, foi elaborada uma composição colorida com a combinação das bandas 3, 4 e 5, obtida a partir da imagem de satélite CBERS 2B, no formato digital, sob a forma de composição colorida das bandas TM3, TM4 e TM5, em escala 1 : 50000, referentes à órbita 220, ponto 76, quadrante A, passagem de 7 de dezembro de 2008. As três diferentes bandas: TM -3 (630 a 690 nm), correspondente à região do vermelho; TM -4 (760 a 900 nm), correspondente ao infravermelho próximo e TM -5 (1550 a 1750 nm), correspondente ao infravermelho médio foram usadas para caracterização do uso do solo da

micrbacia. Para o georreferenciamento da imagem foi utilizado o sistema de coordenadas planas, projeção UTM, datum Córrego Alegre, bem como dois arquivos de pontos de controle obtidos da imagem de satélite e o outro, da carta topográfica de Botucatu (IBGE, 1969). As coordenadas de cada ponto e estes dados permitiram a elaboração de um arquivo de correspondência, pelo comando Edit do menu Database Query, no módulo Analysis.

Posteriormente, o georreferenciamento permitiu a extração da área da microbacia, sendo em seguida demarcadas as áreas de treinamento sobre a imagem. Essas áreas foram demarcadas sobre grande número de locais, buscando-se abranger todas as variações de cada ocupação do solo. A seguir, foram criadas as assinaturas pelo módulo Makesige a classificação supervisionada pelo método de Máxima Verossimilhança, através do módulo Maxlike, sendo as ocupações do solo identificadas e diferenciadas, umas das outras pelo seu padrão de resposta espectral e as áreas de treinamento delimitadas por polígonos desenhados sobre cada uso da terra na imagem. Após, foram indicados os nomes para cada classe de uso da terra, associados aos seus identificadores, sendo a imagem classificada e os cartogramas demonstrativos da distribuição espacial de cada uso da terra com base nestes dados.

Utilizou-se para identificação digital dos alvos as chaves de interpretação para imagens (ROCHA, 1986).Após a elaboração da carta de uso da terra, as áreas foram determinadas com o auxílio do software SIG –IDRISI, utilizando-se do comando Areado menu Database Query, pertencente ao módulo Analysis.

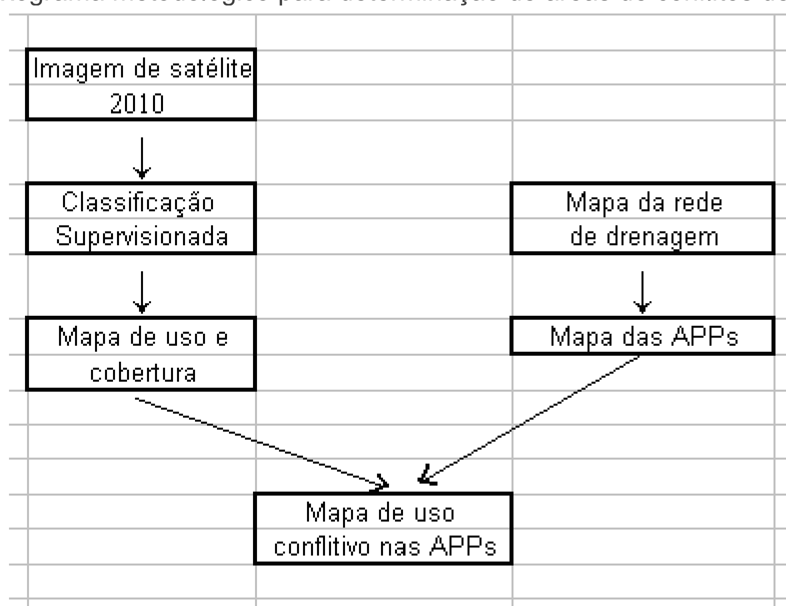
As áreas de preservação permanentes ao longo dos cursos d’água e ao redor das nascentes do Ribeirão da Fazenda Barreiro foram obtidas pela operação Proximity◊Buffer do Argis 9.3, que proporcionou a criação de um buffer de 50m de raio nas áreas das nascentes e de 30m de cada lado da drenagem ao longo do leito do córrego, resultando no mapa de APP’s fundamentado na resolução CONAMA n° 303/2002, Art. 3°: “constitui Área de Preservação Permanente a área situada em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima de trinta metros, para o curso d’água com menos de 10 metros de largura”, e no Código Florestal (Lei 4.771/1965), que considera essas áreas, cobertas ou não por vegetação nativa: “com a função ambiental de

preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas".

A quantificação dos usos conflitantes foi realizada através da álgebra de mapas (mapa de uso da terra x APP's) foi realizada uma sobreposição ou overlaydo mapa de uso e cobertura da terra com o mapa das APP's para identificação das áreas de conflito de uso nas APP's.

Os procedimentos foram executados no ArcGIS utilizando-se a opção Analysis Tools do menu ArcToolbox com o comando Intersect. As áreas de conflitos de acordo com as classes de uso foram identificadas e mensuradas em função do cálculo da área, através das ferramentas Calculate Geometrye Field Calculator. Esses procedimentos foram executados no ambiente Raster Calculator no módulo Spatial Analyst do ArcGIS e permitiram a delimitação das áreas de classes de uso da terra, qualificando e quantificando as áreas que estavam contidas nos limites das APP (Figura 2).

Figura 2: Fluxograma metodológico para determinação de áreas de conflitos de uso de APP's



Fonte: Os autores

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

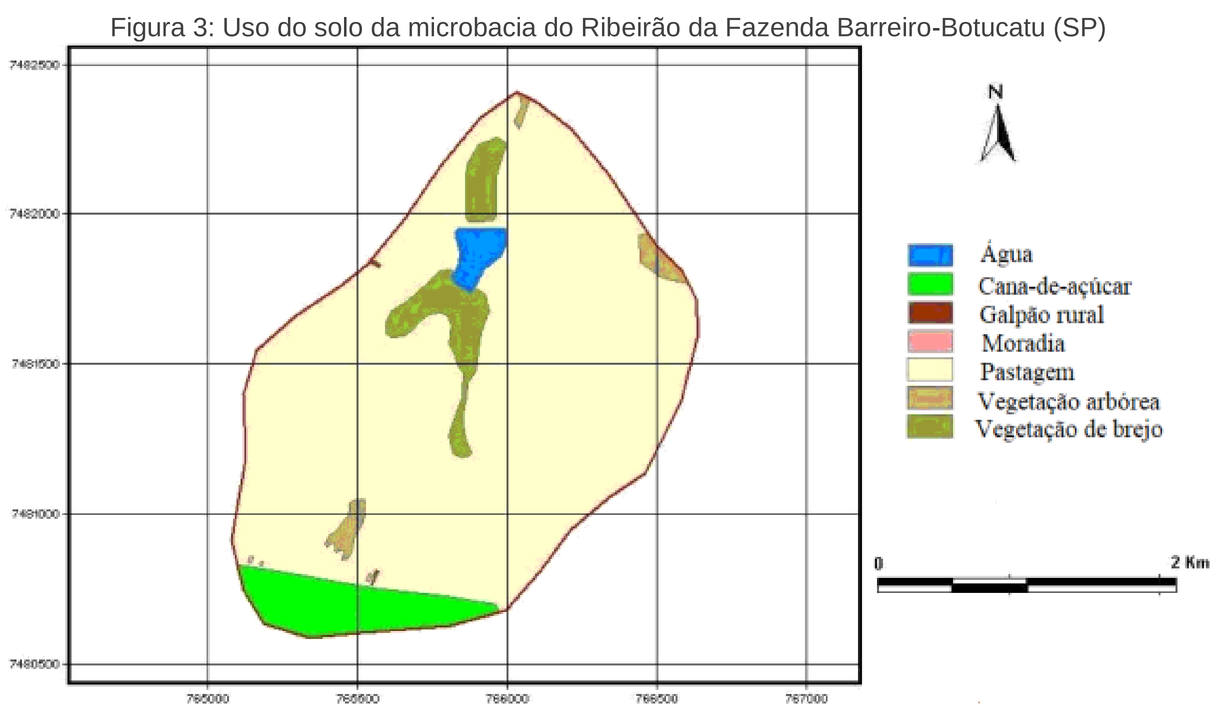
As mudanças na cobertura vegetal acontecem de forma dinâmica na bacia, ao longo do tempo, com a região sofrendo mudanças nas paisagens

nesses últimos anos, caracterizadas principalmente pela expansão das pastagens (CAMPOS, 1997).

As áreas de vegetação natural na região de Botucatu com clima e topografia favoráveis, apresentam apenas vestígios da cobertura vegetal original. Os cerrados vêm diminuindo progressivamente pela utilização de suas áreas por com culturas de alto retorno econômico, como é o caso da cultura da cana-de-açúcar e do citrus.

O Sistema de Informação Geográfica –IDRISI Selva permitiu a discriminação, mapeamento e quantificação 7 feições na microbacia do Ribeirão da Fazenda Barreiro (Figura 2 e Quadro 1): cana-de-açúcar, pastagem, água, galpão, moradia, vegetação de brejo e arbórea. A análise do uso e ocupação do solo (Figura 3 e Quadro 1) na microbacia do Ribeirão da Fazenda Barreiro –Botucatu (SP) mostra que a pastagem foi a cultura que ocupou a maior parte da área, representando mais de 85,61%, ou seja, 156,82ha, mostrando com isso a predominância da pecuária na região (CAMPOS, 1993).

Figura 3: Uso do solo da microbacia do Ribeirão da Fazenda Barreiro-Botucatu (SP)



Fonte: Os autores

Quadro 1: Uso da terra na microbacia do Ribeirão da Fazenda Barreiro-Botucatu (SP)

Uso do solo	Área	
	ha	%
Cana-de-açúcar	11,82	6,45
Vegetação de Brejo	9,01	4,92
Vegetação Arbórea	2,73	1,49
Pastagem	156,82	85,61
Água	2,64	1,44
Moradia	0,07	0,04
Galpão	0,10	0,05
Total	**183,19**	**100**

Fonte: Os autores

Os desmatamentos vêm agredindo, cada vez, mais o solo, deixando-o descoberto e sob a ação das chuvas, aparecendo em consequência as erosões e a lixiviação dos elementos nutritivos essenciais para sobrevivência das plantas. Assim, o uso da terra deve ser realizado de forma racional, adequado e não agressivo ao meio ambiente (CAMPOS et al., 2005).

Os resultados permitiram analisar que a preservação ambiental dessa área não vem sendo conservada ao longo dos anos, pois as vegetações representam apenas 11,74% da área. Estas são formadas por vegetações de brejo e arbórea. O Código Florestal coloca que a reserva mínima de florestas deve ser de 20% de área de cada propriedade. Este parâmetro é muito importante (Rocha, 1991), pois as florestas são fundamentais no controle de erosão, de enchentes e na recarga do lençol freático quando situadas em locais adequados.

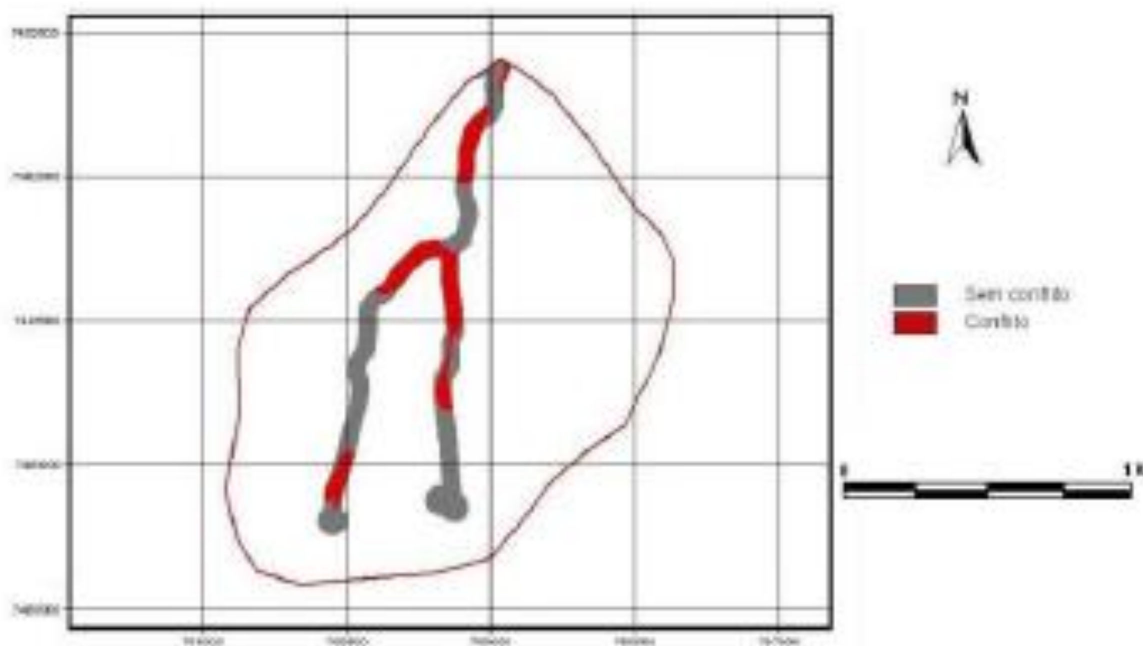
Os dados obtidos permitiram colocar a respeito da preservação ambiental da microbacia do Ribeirão da Fazenda Barreiro que a mesma não está sendo conservada ambientalmente, pois em termos de preservação ambiental, estas representam apenas 11,74% e de acordo com o Código Florestal, a reserva mínima de florestas deve ser de 20% com cobertura arbórea da área de cada propriedade. Este é um parâmetro muito importante.

Para Rocha (1991), as florestas são essenciais para o controle de erosão e de enchentes, uma vez que são fundamentais na recarga do lençol freático quando situadas em locais adequados. Após a delimitação da rede de

drenagem, foram estabelecidas as APP’s, que correspondem a 17,94 ha (9,79%) de toda a área da microbacia. No mapa de conflito de usos em áreas de APPs (Figura 3 e Quadro 2), o buffer gerado num raio de 50m ao redor das nascentes e ao longo da rede de drenagem estudada com uma largura de 30m ocupou 9,79% (17,94ha) da área (Quadro 2).

As áreas de preservação permanentes (17,94ha) estão sendo usadas inadequadamente para outros fins, como: 9,64 ha com pastagem e 0,06 ha com reflorestamento. O restante vem sendo utilizada com vegetação de brejo e arbórea e água.

Figura 4: Mapa de conflitos de uso do solo em APPs na microbacia do Ribeirão da Fazenda Barreiro-Botucatu SP



Fonte: Os autores

Quadro 2: Conflito de uso do solo nas APPs da microbacia do Ribeirão da Fazenda Barreiro-Botucatu SP

Uso do Solo	Conflitos	
	ha	%
Pastagem	9,64	99,38
Cana-de-açúcar	0,06	0,62
Total	**9,70**	**100**

Fonte: Os autores

A determinação do conflito de uso e ocupação do solo em APPs é muito importante na conservação ambiental, uma vez as APPs são fundamentais na preservação dos recursos naturais. Assim, este trabalho permitiu constatar que as áreas de preservação permanentes vêm sendo parcialmente respeitadas (6,41%), pois se apresentam constituídas com vegetação de brejo (4,92%) e arbóreas(1,49%).

Os conflitos de uso da terra em áreas de preservação permanente foram utilizados somente ao longo da rede de drenagem e nascentes da microbacia, dada a ausência das categorias de APPs situadas no terço superior dos morros e encostas com declividade superior a 45O, conforme itens dos artigos 2º e 3º da Resolução nº 303 do CONAMA.

A exatidão do mapeamento foi realizada estatisticamente através do índice Kappa (LANDIS; KOCH, 1977), onde o índice calculado sobre os resultados desta abordagem de classificação foi de 0,61, classificado como boa.

4. CONCLUSÃO

A imagem de satélite e a utilização dos sistemas de informação foram ferramentas muito importantes no processo, uma vez que permitiram a discriminação das classes de uso e ocupação do solo, bem como e a produção dos mapas temáticos num menor tempo.

Os dados obtidos servirão para estudo de futuros planejamentos de recuperação e ordenamento da área, pois mostram que a área não vem sendo ambientalmente preservada, pois se apresenta coberta com 11,74% de vegetação de brejo e arbórea, sendo que o mínimo exigido pela legislação do Código Florestal Brasileiro vigente é de 20%.

O alto índice de ocupação do solo pela pastagem (85,61%), reflete a predominância da pecuária regional.

A área de preservação permanente com 17,94ha, dos quais 99,38 % (9,64ha) estão sendo ocupados inadequadamente por pastagem.

As áreas de preservação permanente e de conflito mostraram que a área da microbacia está sendo utilizada inadequadamente, principalmente com pastagem, não respeitando a legislação do Código Florestal Brasileiro.

REFERÊNCIAS

ARGENTO, M.S.F., CRUZ, C.B.M.1996. Mapeamento geomorfológico.Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 282p.BRASIL.Lei n° 4.771, de 15 de Setembro de 1965, que institui o novo Código Florestal.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 303, de 20 de Março de 2002. Áreas Protegidas – Áreas de Preservação Permanente, Brasília, 13 de maio de 2002.

CAMPOS, S. 1993. Fotointerpretação da ocupação do solo e suas influências sobre a rede de drenagem da bacia do rio Capivara -Botucatu (SP), no período de 1962 a 1977. Botucatu: 164f. Tese (Doutorado em Agronomia) -Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP.

CAMPOS, S. 1997. Diagnóstico físico conservacionista da bacia do rio Lavapés -Botucatu (SP).140f. Tese (Livre-Docência) –Faculdade de Ciências Agronômicas –UNESP, Botucatu.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, v.33,n.1,p.159-174.ROCHA, J.S.M. da. 1986. Manual de interpretação de aerofotogramas.Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 58p.

ROCHA, J.S. M. da. 1991. Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas. ed. UFSM, Santa Maria, RS. 181p.SILVA, E. 1996. Código Florestal Brasileiro: função e áreas de preservação permanente. In:SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 4, 1996,Belo Horizonte, MG. Anais...Belo Horizonte: p.48.

CAPÍTULO 02

FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HID ROGRÁFICA DO RIO CAPIVARA, BOTUCATU-SP

Daniela Polizeli Traficante
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: daniela.trafficante@unesp.br

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Rodrigo Lilla Manzione
Faculdade de Ciências e Engenharias – UNESP – Tupã, SP.
E-mail:lilla.manzione@unesp.br

Bruno Timóteo Rodrigues
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: brunogta21@gmail.com

Resumo: O objetivo deste trabalho foi identificar a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capivara, Botucatu-SP. Foram utilizados os atributos uso da terra, solos, declividade e geologia através da Combinação Linear Ponderada (álgebra de mapas) em que cada um foi considerado um fator condicionante à fragilidade ambiental. A normalização dos fatores se deu pelas classes de fragilidade com notas variando de um a cinco, de muito baixa à muito alta, respectivamente, e a determinação dos pesos pelo método do Processo Hierárquico Analítico. Os resultados indicaram que a bacia apresentou altos índices de fragilidade, em 90,4% de sua área total, tendo o uso da terra ocupado pelas áreas de pastagens degradadas como o maior vetor de pressão. Somente 9,6% da área total da bacia foi classificada com baixos índices de fragilidade onde estão as áreas com cobertura florestal (nativas e reflorestamento de eucalipto) mata ciliares e as áreas de várzea. Estes índices de alta fragilidade vêm contribuindo para a redução da disponibilidade hídrica da bacia como consequência da falta de planejamento ambiental e exploração desordenada dos recursos naturais.

Palavras-chave: Análise Multicriterial, *EASY AHP*, SIG, Planejamento Ambiental.

Abstract: The aim of this study was to identify the environmental fragility of Capivara River Watershed, Botucatu, Sao Paulo State, Brazil. Attributes like land use, soil, slope and geology were combined through weighted linear combination (map algebra) in which each of them was considered a conditioning factor to the environmental fragility. Factors standardization was given through the fragility classes with grades ranging from one to five, very low to very high, respectively, and the determination of weights by the Analytical Hierarchy Process method. The results

indicated that the Capivara River Watershed showed high levels of fragility, with 90.4% of total area, and the land use occupied by degraded pastures was the greatest pressure vector for these high rates. Only 9.6% of the basin total area were classified as low fragility indexes, which are the areas with forest cover (natives and eucalyptus forest), riparian forest and lowland areas. These high fragility indexes have contributed to the reduction of water availability in basin because of lack of environmental planning and uncontrolled exploitation of natural resources.

Keywords: Multi-Criteria Analysis, *EASY AHP*, GIS, Environmental Planning.

1. INTRODUÇÃO

Consideradas como unidades de planejamento ambiental, as bacias hidrográficas apresentam sua própria “vulnerabilidade natural”, que são atribuídas ao conjunto de suas características intrínsecas tais como o relevo, as tipologias de solo e geologia e até mesmo o uso da terra. Ao inserir neste contexto os fatores externos de ocorrência não natural, é possível avaliar o nível de degradação que produzem através de estudos da fragilidade ambiental que auxiliará nas estratégias futuras para conservação dos recursos naturais (COSTA et al., 2015).

A intensificação do uso agrícola e pecuário desrespeitando a aptidão do solo bem como a inadequação do planejamento urbano, e os impactos da poluição difusa em áreas de alta vulnerabilidade natural tem ocasionado relevante mudança na dinâmica funcional de uma bacia hidrográfica. Tais impactos interferem na qualidade hídrica dos mananciais superficiais e subterrâneos (aquíferos), demonstrando o quão frágil uma bacia hidrográfica pode se tornar mediante a exploração desordenada dos recursos naturais (MANZIONE et al., 2010).

A interação de um grande número de variáveis se torna possível e simplificada com o uso do Sistema de ***Traficante et al.*** Informação Geográfica (SIG). Na análise integrada dos dados do meio físico, têm sido usados como importante ferramenta para o planejamento ambiental, gerando uma base de dados que poderá subsidiar diversos estudos dentro de uma mesma bacia hidrográfica (AMIRI; SHARIFF, 2012).

A análise multicriterial (AMC), em ambiente SIG, representa um avanço em relação ao cruzamento de planos de informação (PIs). Os critérios, normalmente, são integrados com a utilização de pesos de importância, obtidos com o apoio de ferramentas de suporte à decisão tais como o Processo Hierárquico Analítico (AHP) e a Combinação Linear Ponderada (CLP) (EASTMAN, 2012). A técnica AHP faz com que seja possível escolher uma opção de gestão adequada, envolvendo critérios quantitativos e qualitativos, que estruturam problemas heterogêneos na forma de uma hierarquia, comparações de pares e ponderação de critérios e a CLP complementa o processo com regras de combinação compensatória entre os critérios de análise, onde um baixo desempenho em um critério pode ser compensado por um alto desempenho em outro (SAATY, 1980).

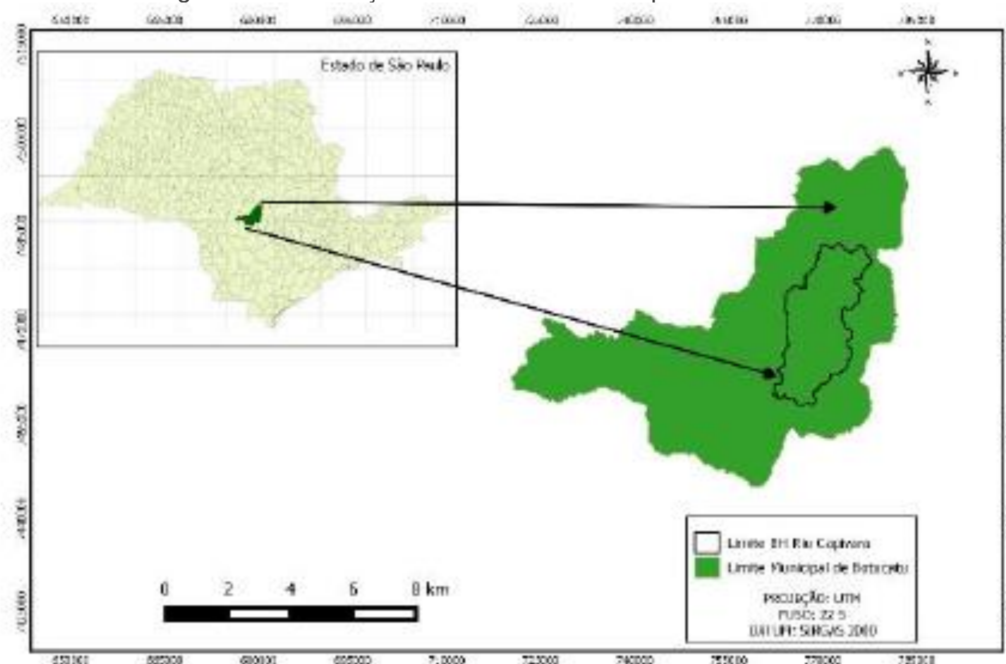
Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo a identificação da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capivara. Aplicou-se a Análise de Multicritério por meio do Processo Hierárquico Analítico, em ambiente SIG, utilizando o método da Combinação Linear Ponderada integrando os atributos uso da terra, pedologia, declividade e geologia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Situada no município de Botucatu/SP, a área de estudo abrange integralmente a Bacia Hidrográfica do Rio Capivara (BHRC), situada entre as coordenadas 758.000 m E; 7.486.000 m S e 779.645 m E; 7.456.286 m S (da Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 22 Sul), compreendendo uma área total de aproximadamente 22.460 hectares. O clima predominante na área, segundo o sistema de Köppen, é do tipo Cfa – clima temperado quente (mesotérmico) úmido (CUNHA; MARTINS, 2009). Destaca-se, entretanto, por sua extensão, bem como pelo volume d'água, o Rio Capivara, como uma espécie de rio-eixo, que atravessa a Cuesta no sentido Sul-Norte e vai se unir ao Rio Tietê na altura da represa de Barra Bonita (Figura 1).

Figura 1: Localização da BHRC no município de Botucatu-SP



Fonte: Os autores

É uma bacia com expressiva importância ambiental, por abrigar áreas de relevante interesse ecológico tais como os remanescentes de vegetação nativa da Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual - FES) e Cerrado (Cerradão; Cerrado *senso stricto*) incluindo áreas de transição de FES-Cerradão (JORGE, 2000); e as unidades de conservação Parque Natural Municipal Cachoeira da Marta e a APA Corumbataí-Botucatu-Tejupá (perímetro Botucatu), que estão sotopostas por áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (TRAFICANTE; RODRIGUES; CAMPOS, 2014).

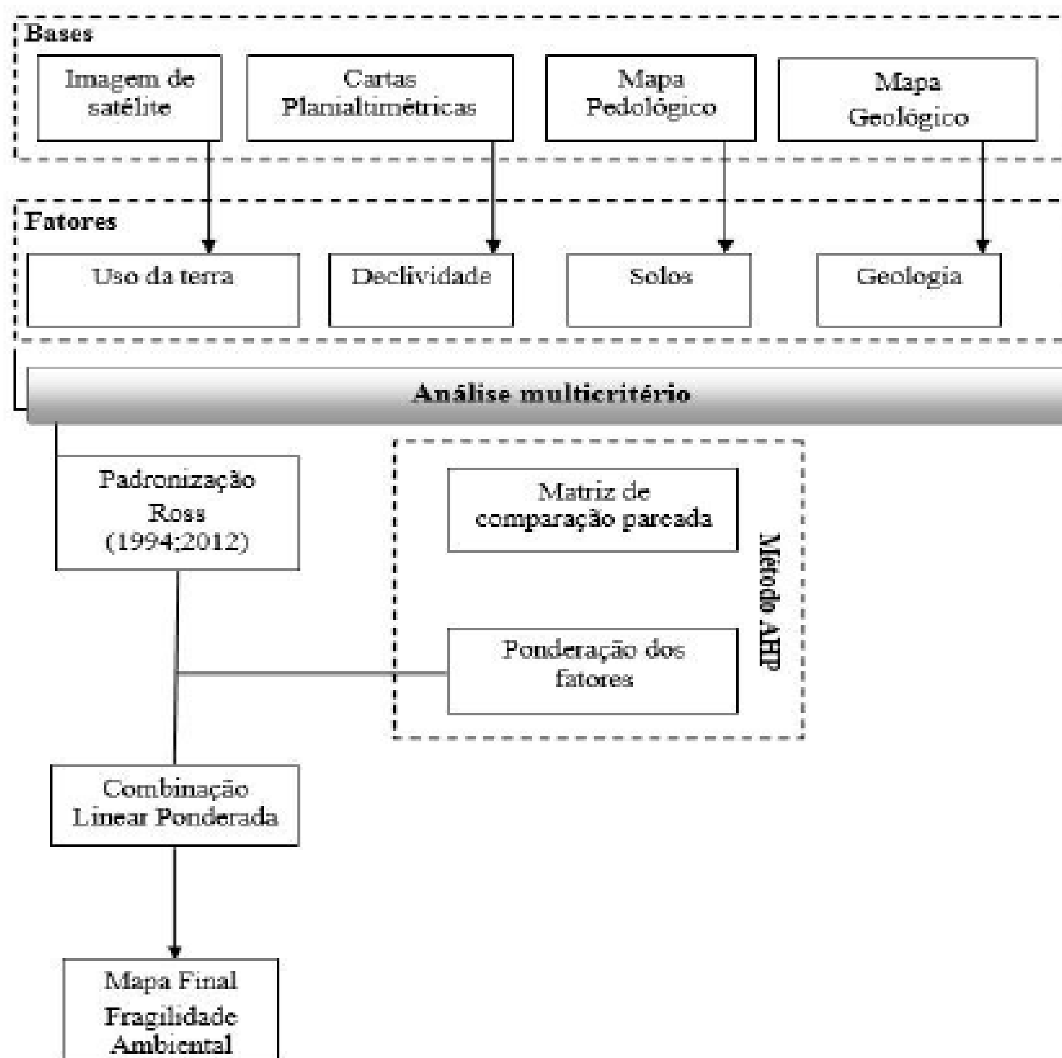
2.2 BASES CARTOGRÁFICAS, IMAGENS DE SATÉLITE E APLICATIVOS COMPUTACIONAIS

Foram utilizadas cartas planialtimétricas editadas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC), datadas de 1978, com escala de 1:10.000 e equidistância vertical entre as curvas de nível de cinco metros e; imagens multiespectrais do sensor OLI, anexado ao satélite Landsat 8 com data de passagem 15/10/2015, na órbita 220 e ponto 076. A aquisição das imagens foi obtida de forma gratuita através do portal do USGS – U. S. *Geological Survey*, no endereço eletrônico http://glovis.usgs.gov. O aplicativo computacional Quantum GIS (QGIS) versão 2.8.3 (QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM, 2015) foi utilizado para vetorização das curvas planialtimétricas e rede de drenagem; processamento de arquivos no formato matricial, interpolação e álgebra de mapas, georreferenciamento, edição de arquivos no formato vetorial e elaboração dos mapas finais.

2.3 ELABORAÇÃO DA BASE DE DADOS

Os procedimentos metodológicos deste estudo foram desenvolvidos a partir da elaboração e processamento de uma base de dados georreferenciados, em ambiente SIG, adotando o sistema de coordenadas planas Universal Transverso de Mercator – UTM, com Datum SIRGAS 2000, fuso 22 Sul conforme apresentado na Figura 2. Todo o procedimento para a execução da AHP com a CLP foi realizado por um *plug-in3* inserido ao aplicativo QGIS, denominado *“EASY AHP”* (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015).

Figura 2: Fluxograma das etapas utilizadas para análise da fragilidade ambiental na BHRC.



Fonte: Os autores

A análise da fragilidade ambiental se deu com base na metodologia proposta por Ross (1994, 2012), onde é considerado o equilíbrio dinâmico das paisagens de acordo com os componentes físicos, bióticos e abióticos de cada ambiente. A escolha dos fatores selecionados para mapear a fragilidade ambiental da área de estudo se estabeleceu a partir do entendimento de que estes são fundamentais para compreender os processos ambientais que ocorrem BHRC. Os procedimentos para esta avaliação incluem estudos interdependentes do uso da terra, solos, declividade e geologia.

Para a interpretação das imagens e diferenciar as classes de uso da terra, foram realizadas composições coloridas entre as bandas fusionadas (com resolução

espacial de 15 metros) no sistema de cores RGB (R, vermelho; G, verde; B, azul). O mapa pedológico foi obtido através do recorte feito para as classes de solos existentes na área de estudo, de acordo com o levantamento pedológico do município de Botucatu, realizado por Piroli (2002), escala 1:50.000, em adequação ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, SiBCS, Embrapa (2013).

No mapeamento da declividade, obteve-se o modelo digital de elevação. Para o MDE foram utilizadas as curvas planialtimétricas encontradas nas cartas topográficas do IGC, na escala 1:10.000, no formato matricial. Inicialmente estas curvas foram georreferenciadas, adotando como pontos de controle os cruzamentos entre as coordenadas indicados na própria carta. Posterior a este procedimento fez-se o cálculo de declividade no módulo *sextante* > *Grass* e finalmente usando-se o módulo de reclassificação de valores, o algoritmo *reclass*, os valores interpolados foram agrupados em intervalos de seis classes de declividade, em porcentagem: 0-3, 3-8, 8-20, 20-45, 45-75 e >75%, de acordo com a Embrapa (2013). A identificação das formações geológicas que ocorrem na área foi realizada mediante adaptação ao levantamento geológico do Estado de São Paulo (LANDIM, 1984), na escala 1:250. 000.Também foi realizado o recorte para a área de estudo, de acordo com as unidades geológicas ali existentes.

A análise de multicritério (AMC) escolhida para atender o objetivo deste estudo combinou e avaliou um conjunto de critérios (tomada de decisão) de acordo com as etapas demonstradas pela Figura 2. Porém são necessários dois procedimentos para a realização da AMC: a padronização e a ponderação dos fatores. Na padronização, todos os fatores: uso da terra, solos, declividade e geologia, antes de serem trabalhados no formato matricial (raster), foram normalizados de acordo com a metodologia proposta por Ross (1994, 2012) em que cada categoria de classe ou grau de proteção recebeu uma nota hierarquizada de um a cinco, de muito baixa a muito alta respectivamente, conforme as classes de fragilidade descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Notas e classes de fragilidade

Notas	Classes de Fragilidade
1	Muito Baixo
2	Baixo
3	Médio
4	Alto
5	Muito Alto

Fonte: Os autores – Adaptado de Ross (1994, 2012)

Assim, para que todos os fatores apresentassem a mesma unidade, eles foram convertidos para o formato matricial (raster), através do processo denominado rasterização, no QGIS, atribuindo a cada pixel o tamanho de 30 metros de resolução espacial. Este procedimento é importante para que seja possível a sobreposição destes planos de informação (álgebra de mapas na CLP), permitindo o processamento destes dados em formato matricial gerando novas informações.

Na ponderação dos fatores consideraram-se cada um deles como tendo uma importância diferente frente ao objetivo. Para a definição dos pesos de cada fator foi adotada a metodologia proposta por Saaty (1977) denominada AHP, onde estes fatores são comparados através de uma matriz de comparação pareada, com a definição da importância relativa entre eles e para isto é construída uma matriz quadrada de ordem n, onde n representa o número de fatores. Os valores de comparação adotados neste estudo seguiram a escala elaborada por Saaty (1990) e estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Escala de valores para a comparação pareada

Escala de Importância	Definição na comparação pareada
1	Dois fatores são igualmente importantes para o objetivo
3	Um fator é moderadamente importante sobre outro para o objetivo
5	Um fator é fortemente importante sobre outro para o objetivo
7	Um fator é muito fortemente importante sobre outro para o objetivo
9	Um fator é extremamente importante sobre outro para o objetivo
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: Os autores – Adaptado de Saaty (1990)

O preenchimento da matriz de comparação pareada utilizando a escala apresentada na Tabela 2 deve seguir duas regras. A primeira diz que a matriz deve ser recíproca, ou seja, *aij = 1/aji,* por exemplo, se o elemento a12 da matriz, que representa a comparação entre o fator F1 com F2 (f1/f2), receber o valor 3 da escala, então o elemento a21 da matriz, onde é feita a comparação entre F2 com F1 (f2/f1), receberá o valor 1/3. Na segunda regra, todo fator quando comparado a ele mesmo (diagonal da matriz) receberá o valor 1 da escala, ou seja, igual importância, com isso *aii = 1*, para todo *i*. Após o preenchimento da matriz, foi calculado o vetor de pesos *w*, onde para cada fator *n* foi obtido um peso *wi* (SILVA et al., 2004). Posterior a obtenção dos pesos, seguiu-se para o cálculo do autovalor máximo *(λmáx)* para a matriz. De acordo com SAATY (1990), *λmáx* deve ser maior ou igual a *n* para uma matriz recíproca e positiva.

O grau de consistência com que a matriz de comparação pareada foi preenchida foi determinado através do cálculo do Índice de Consistência (CI). De acordo com o valor de CI, foi calculada a Razão de Consistência (CR) que relaciona o valor de CI com um Índice de Aleatoriedade (RI), Conforme Saaty (1980), o limite superior para esta razão é de 0,10. Valores de CR abaixo de 0,10 indicam que a matriz de comparação pareada está consistente e os pesos obtidos podem ser utilizados. Porém, valores de CR acima de 0,10 indicam que a matriz foi preenchida de forma inconsistente e deverá ser reavaliada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso da terra na BHRC é representado por 13 diferentes classes de usos em que o reflorestamento (plantação de eucalipto) e atividades agropecuárias por áreas de pastagens ocupando, respectivamente, 24,38% e 23,18 % do total da área foram predominantes. A vegetação nativa representada pelo Cerradão ocupa o terceiro lugar com 12,67%, as matas ciliares 12,15% e a Floresta Estadual Semidecidual (FES) se apresenta em quinto lugar com 8,58%. As áreas de transição entre a FES e o Cerradão (zonas de ecótono) aparecem em décimo lugar, representando 1,29 % e o Cerrado com 0,23% em décimo segundo lugar. O restante da área (17,5%) é ocupado por culturas perenes (Citrus e Café, 7,88%), cultura anual (Cana de açúcar,

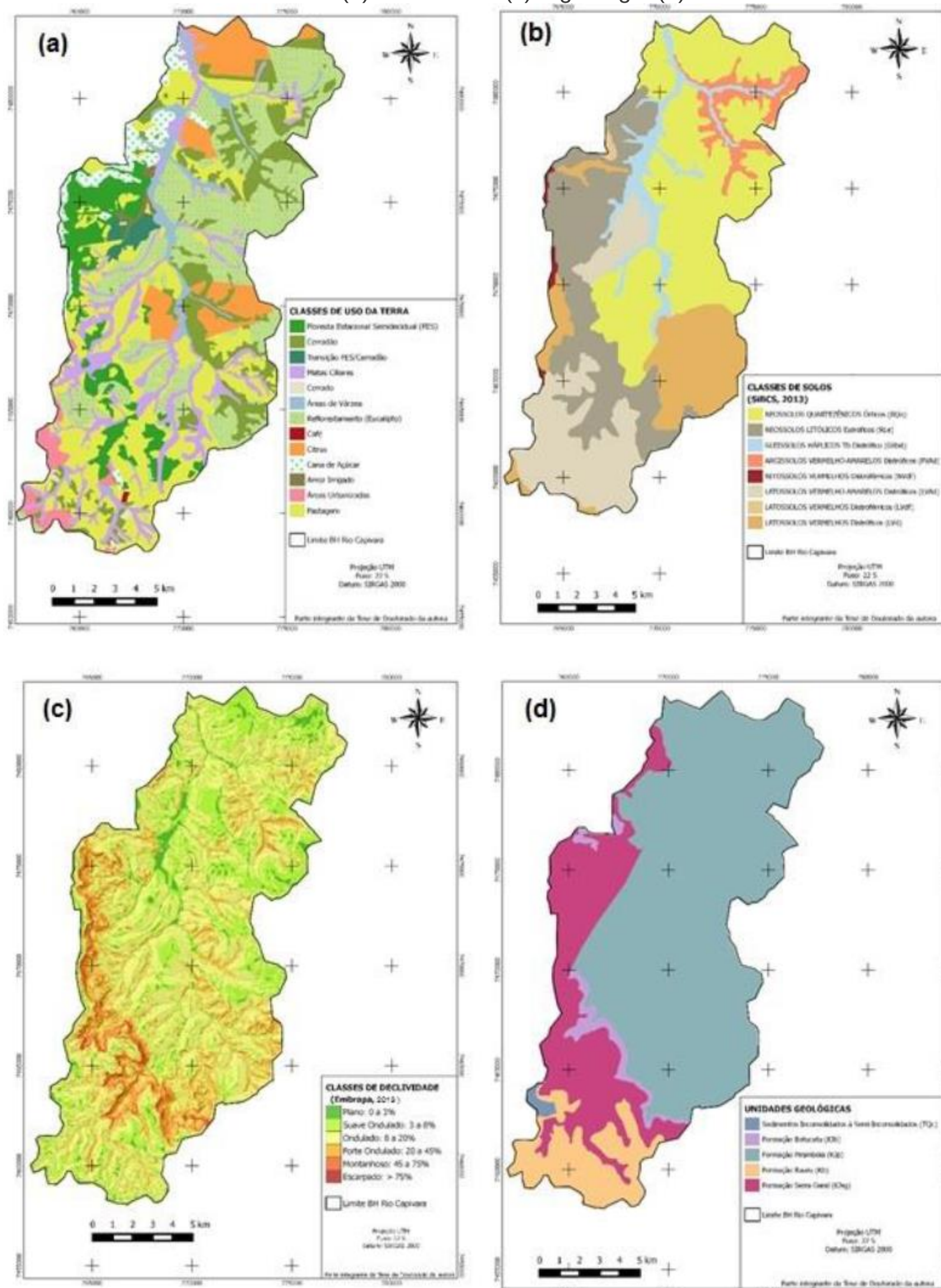
3,8%), Áreas de várzea (3,26%), Área Urbana (2,11%) e Arroz irrigado (0,47%) (Figura 3 a).

As classes pedológicas para a BHRC se apresentam na Figura 3 b. Foram delimitadas oito diferentes classes de solos nos quais se encontram: NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos (RQo), NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos (Rle), LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos (LVAd), LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos (LVd), GLEISSOLOS HÁPLICOS Tb Distrófico (GXbd), ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos (PVAd), NITOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos (NVdf), LATOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos (LVdf). As classes de solo predominantes são NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos, NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos, LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos, que juntos ocupam 74,1 % da área total da BHRC.

A declividade média, obtida por média aritmética, foi de 16,7% que, segundo classificação da Embrapa (2013) caracteriza um relevo ondulado. Esta mesma classe de declividade ocupa 49,8 % da área total da bacia, seguido pelo suave ondulado (26,4%) e do fortemente ondulado representando por 16,1%, sendo estas as classes que predominam na BHRC (Figura 3 c).

Foram delimitadas cinco diferentes unidades geológicas nas quais se encontram: a Formação Pirambóia (KJp), a Formação Serra Geral (KJsg), a Formação Bauru (Kb), a Formação Botucatu (KJb) e os Sedimentos inconsolidados à semi-inconsolidados (TQc), dentre as quais predominam a Formação Pirambóia e a Formação Serra Geral que juntas cobrem 87,2% da área total da BHRC. O restante da área, 12,8%, é ocupada pelas Formações Bauru e Botucatu, e pelos Sedimentos Inconsolidados a Semi-inconsolidados (Figura 3 d).

Figura 3: Fatores utilizados na determinação da fragilidade ambiental da BHRC. Uso da terra (a), solos (b) declividade (c) e geologia (d).



Fonte: Os autores

Após a padronização, os fatores foram ponderados de acordo com a sua importância frente à fragilidade ambiental. O preenchimento da matriz de

comparação pareada (AHP) com o vetor de pesos (CLP), está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Matriz de comparação pareada para os fatores adotados

Fatores	F_1	F_2	F_3	F_4	Vetor de pesos
F_1	1,0	2,0	3,0	5,0	0,456
F_2	0,5	1,0	3,0	5,0	0,324
F_3	0,33	0,33	1,0	3,0	0,152
F_4	0,2	0,2	0,33	1,0	0,068

λmáx=4,106(n=4);CI=(λmáx-n)/(n-1)=0,035;RI=0,90; CR=0,039; F_1= uso da terra; F_2=solos; F_3=declividade; F_4=geologia.

Fonte: Os autores

O valor de λmáx foi de 4,106 sendo este maior que o número de fatores (n = 4). Já, o valor de CR foi de 0,039 (valor inferior a 0,1), indicando que a matriz de comparação pareada foi preenchida de maneira aleatória e estando consistente, não necessitando de reestruturação (SAATY, 1990). Em relação ao vetor de ponderação (pesos atribuídos aos fatores), obtiveram-se como ordem de importância, do maior para o menor, os seguintes fatores: uso da terra (45,6%), pedologia (32,4%), declividade (15,2%) e geologia (6,8%). Conforme a integração dos quatro fatores através da técnica CLP em ambiente SIG, obteve-se um mapa final (Figura 4, Tabela 4) com a representação espacial das áreas homogêneas frente à fragilidade ambiental na área total da BHRC.

Tabela 4: Áreas ocupadas pelas classes de fragilidade distribuídas na área total da BHRC

Classes de fragilidade	Área (ha)	% do total
Muito Alta	3.021	13,5
Alta	8.762,7	39
Média	8.521	37,9
Baixa	2.140	9,53
Muito Baixa	15,6	0,07
Total	22.460,3	100

Fonte: Os autores

As áreas ocupadas pelas classes de fragilidade muito alta e alta ocupam juntas 52,5% da área total da BHRC, e os outros 47,5% ficam distribuídos entre as classes de fragilidade média, baixa e muito baixa. Os atributos dos fatores físicos e antrópicos, conduzidos pela susceptibilidade ambiental natural de certas regiões da bacia, caracterizadas pelo tipo de solo e a declividade, tornaram o uso da terra o fator de maior peso de ponderação. A presença de áreas de pastagens, cana de açúcar, café, citrus e arroz irrigado em NEOSSOLOS (RLe e RQo) e declividades acentuadas, principalmente acima de 20 % (terrenos forte ondulados) associados à Formação Pirambóia e Serra Geral participaram de forma decisiva no estabelecimento das áreas categorizadas como de fragilidade muito alta e alta, que foram encontradas por toda a extensão da bacia, contribuindo para suscetibilidade à erosão destes ambientes. A erodibilidade do solo depende, além de suas características intrínsecas (físicas, químicas e biológicas), da topografia, da cobertura do solo e das práticas conservacionistas. Nas áreas de expansão urbana localizadas principalmente nas regiões sul e sudeste da área, na presença dos LATOSSOLOS (LVAd) em regiões de maiores elevações do terreno, associadas à Formação Bauru, também contribuíram com o processo de fragilidade da bacia. Este tipo de solo, mesmo sendo considerado de baixa fragilidade e pouco susceptíveis à erosão, é influenciado pela ocupação da terra existente sobre eles (SILVEIRA; CUNHA, 2010).

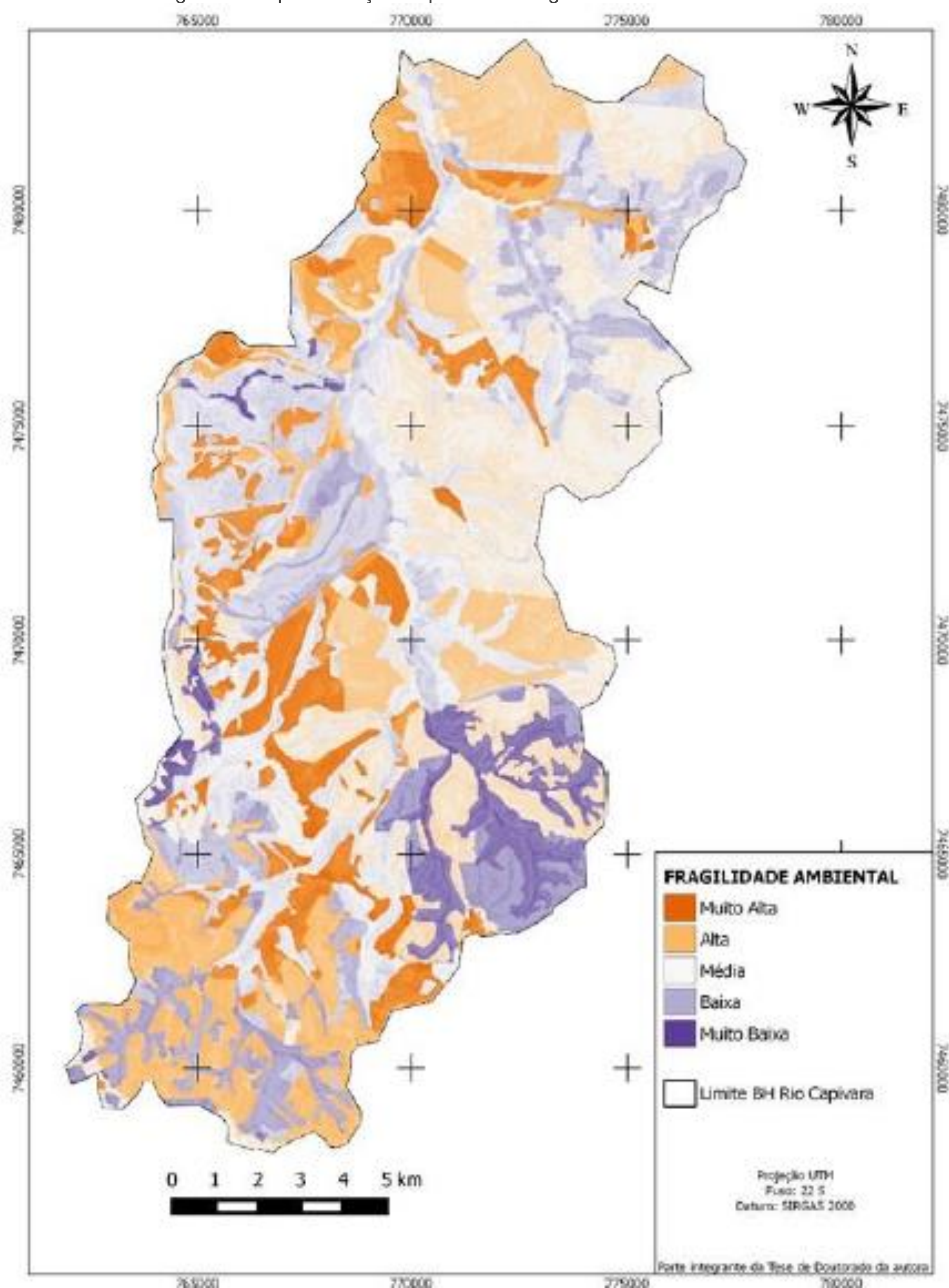
Amaral e Ross (2009) ressaltam que as alterações na cobertura da terra causada, pela prática de culturas agrícolas e pecuárias, fazem com que este solo fique exposto frequentemente. A compactação do solo e a exposição da superfície por meio da diminuição do grau de proteção, comparado com a proteção que havia com a vegetação natural fazem com que ocorra o escoamento superficial, que por sua vez proporciona a erosão linear e laminar, tornando estas áreas muito fragilizadas, e as transformando do seu estado natural, estável, para o antrópico, instável. Como consequência dos processos erosivos, podemos citar também o assoreamento dos corpos hídricos superficiais causados pelo transporte dos sedimentos produzidos pela erosão, que diminuem a capacidade de transporte aumentando o processo de inundação. Pode ocorrer também a diminuição das matas ciliares e a consequente contaminação dos corpos d’água, pois existe o risco

de agroquímicos e metais pesados estarem associados às partículas transportadoras.

As áreas classificadas como de média fragilidade ocupam 37,9% da área total da bacia (sentido centro-nordeste), associando-se principalmente aos NEOSSOLOS (RQo) (textura média arenosa a arenosa) e as plantações de eucalipto. Estas regiões fazem parte do reverso da Cuesta onde predominam declividades acima de 20% (ondulada) e a Formação Pirambóia. Estas áreas contribuem de maneira intermediária no processo de fragilidade ambiental da bacia e auxiliam, mesmo que mais parcialmente para a formação de escoamento superficial do solo decorrente dos processos erosivos. Elas têm uma tendência a se tornarem áreas de fragilidade alta, seguindo a mesma dinâmica destas áreas, pela própria caracterização pedológica e geológica das áreas em que estão inseridas.

No entanto, as que foram consideradas como de muito baixa e baixa fragilidade ambiental correspondem a 9,6% da área total, e se intercalam com as outras classes de fragilidade por toda a extensão da bacia, sendo ocupadas pela FES, Cerradão, transição FES/Cerradão, Cerrado, plantação de eucalipto, áreas de várzea e matas ciliares. Tais áreas receberam uma pontuação baixa de acordo com metodologia proposta por Ross (1994;2012) sendo consideradas como de muito alto e alto grau de proteção, tendo influência na ponderação dos pesos, onde o uso da terra recebeu o maior valor.

Figura 4: Representação espacial da fragilidade ambiental da BHRC



Fonte: Os autores

Nas regiões sul e noroeste da bacia, são encontrados os maiores fragmentos florestais da bacia constituídos pela FES, onde estão inseridos o Parque Natural

Municipal Cachoeira da Marta e a Fazenda Edgárdia (Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agronômicas – Unesp, Botucatu) respectivamente, além das matas ciliares que recobrem a rede de drenagem e os fragmentos de Cerrado que estão na região sudoeste da bacia. Na Fazenda também são encontrados os fragmentos florestais de transição da FES/Cerradão. As plantações de eucalipto e os fragmentos de Cerradão são encontrados na região sudeste e noroeste da bacia. Em todas estas regiões são admitidas declividades variando de ondulada (8-20%) até áreas consideradas montanhosas (45-75%) e escarpadas (>75%) devido à linha de ruptura da Cuesta.

Na área de estudo, nota-se que os fragmentos estão conectados com diferentes culturas agrícolas, como café, cana de açúcar, citrus e pastagens, influenciando de formas distintas a composição e a diversidade de espécies dos fragmentos, visto que cada uso apresenta característica própria, tornando estas áreas perturbadas pelas ações antrópicas, isoladas, pouco conhecidas e pouco protegidas (SILVA; FONSECA, 2016).Isto demonstra o quão frágil se encontra a bacia, por apresentar certa heterogeneidade dentro do seu limite, apresentando áreas de fragilidade muito alta contrastando com outras de fragilidade muito baixa em toda sua extensão.

A classificação apresentada é resultado direto dos fatores escolhidos e dos pesos de ponderação adotados frente ao objetivo do trabalho e constata-se que cada classe de fragilidade possui sua especificidade em virtude das inter-relações entre os diversos atributos dos meios físicos, bióticos e abióticos abordados no presente estudo dos quais depende a manutenção hídrica da bacia (em quantidade e qualidade). Portanto, para garantir o abastecimento hídrico superficial e subterrâneo o manejo de uma bacia hidrográfica com o predomínio do uso agrícola, por mais complexo que seja, deve ter prioridade no planejamento do uso da terra, frente aos quesitos relacionados com a infiltração da água no solo, em interface a redução do escoamento superficial oriundo dos processos erosivos.

4. CONCLUSÃO

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) por meio do aplicativo QGIS 2.8.3 e do *plug in* “EASY AHP” demonstraram eficácia na análise teórica da

fragilidade ambiental, atestando à possibilidade de aplicação deste método em estudos de planejamento ambiental de bacias hidrográficas. A análise da fragilidade ambiental representou um importante instrumento ao planejamento ambiental, pois se identificaram pontos frágeis indicando que estes índices de alta fragilidade vêm contribuindo para a redução da disponibilidade hídrica da bacia como consequência da falta de planejamento ambiental e exploração desordenada dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

AMARAL, R; ROSS, J. L. S.As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. GEOUSP, São Paulo, n. 26, p. 59-78, 2009.

AMIRI, F.; SHARIFI, A. R. B. M. Application of geographic information systems in landuse suitability evaluation for beekeeping: A case study of Vahregan watershed (Iran). African Journal of Agricultural Research, v. 7, n. 1, p. 89-97, 2012.

COSTA, C.W; PIGA, F.G; MORAES, M.C.P; DORICI, M; SAGUINETTO, E.C; LOLLO, J.A; MOSCHINI, L.E; LORANDI, R; OLIVEIRA, L.J. Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas: manancial do Rio das Araras – Araras, SP. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.20, n.4, p. 946-958, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2013. 306 p.

EASTMAN, J. R. Decision suport: decision strategy analysis. In: EASTMAN, J. R. Idrisi Selva Manual. Worcester: Clark Labs, 2012.p.222-237.

JORGE, L. A. B. Comportamento de fragmentos de vegetação natural na Bacia do Rio Capivara, em Botucatu/SP. Revista Árvore, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 389-396, 2000.

LANDIM, P. M. B. (Coord.). Mapa Geológico de Estado de São Paulo. São Paulo: IGCE/UNESP - DAEE, 1984. Escala 1:250.000.

MANZIONE, R. L. KNOTTERS, M.; HEUVELINK, G.B.M; VON-ASMUTH, J.R; CAMARA, G. Transfer function-noise modeling and spatial interpolation to evaluate the risk of extreme (shallow) water table levels in the Brazilian Cerrado. Hydrogeology Journal, v. 18, p. 1927-1938, 2010.

PIROLI, E. L. Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra do município de BOTUCATU – SP. 2002. 122 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM. Quantum GIS. Versão 2.8.3. 2015. Disponível em: <http://www.qgis.org>. Acesso em 10 out. 2015.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. GEOUSP, São Paulo, v. especial, p. 38-51, 2012.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. GEOUSP. São Paulo, v. 8, p. 63-74, 1994.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, v. 15, p. 57–68, 1977.

SAATY, T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill International, 1980.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research. North Holland, v. 48, p. 9–26, 1990.

SILVA, A. N. R.; RAMOS, R.A.R; SOUZA, L.C.L; RODRIGUES, D.S; MENDES, J.F.G. SIG: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e transportes. São Carlos: Editora dos Autores, 2004.

SILVA, N. L; FONSECA, B. M. Análise espaço-temporal das mudanças no uso e cobertura do solo no município de São Thomé das Letras. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 26, n. 45, p., 2016.

SILVEIRA, A; CUNHA, C. M. L. Análises empírica da fragilidade ambiental em área de expansão urbana: o caso do setor noroeste do sítio urbano de Piracicaba (SP). Revista Geografia, Rio Claro, v. 35, n. 3, Rio Claro, p. 553-572, 2010.

TRAFICANTE, D. P.; RODRIGUES, M. T.; CAMPOS, S. Land use of Capivara river watershed in the context of the protected areas in the municipality of Botucatu, Sao Paulo State, Brazil. Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, Curitiba 11, Anais. 2014.

CAPÍTULO 03

COMPORTAMENTO DO SOFTWARE TERRAVIEW NA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA EM DIFERENTES BACIAS

Mikael Timóteo Rodrigues
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: mikaelgeo@gmail.com

Lincoln Gehring Cardoso
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: lincoln-gehring.cardoso@unesp.br

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Bruno Timóteo Rodrigues
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: brunogta21@gmail.com

Zacarias Xavier de Barros
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: zacarias.barros@unesp.br

Resumo: O objetivo principal desse trabalho é averiguar a atuação do software TerraView 4.2.2 desempenhando a classificação supervisiona por meio do padrão espectral em imagem Landsat 5, associada a comparação do uso da terra das bacias hidrográficas dos rios Lavapés e Capivara, inseridas no município de Botucatu/SP utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. As áreas de treinamento supervisionado foram definidas a partir de nove classes para bacia do Lavapés e sete para bacia do Capivara, fundamentais para o estudo e análise do uso e ocupação da terra, como mata, solo, culturas - agricultura, corpos d´água e malha urbana dentre outras classes encontradas. Tais áreas de treinamento supervisionado foram definidas por meio de polígonos que representaram as respectivas classes de uso e ocupação da terra, considerando a cor, brilho, padrão e textura emitida por cada pixel da imagem. A diferença de resultados entre as duas bacias avaliadas foi notória, onde a bacia do Capivara apresentou melhores resultados, seguramente por apresentar um número menor de classes de uso da terra e uma menor área urbana, assim causando menos confusões para o algoritmo. Outro fator evidente foi à clara diferença dos produtos derivados a partir da classificação gerada e posteriormente pós-classificados com o filtro majoritário (*majority filter*), onde sempre após a reclassificação a acurácia foi elevada, apresentado menos erros de omissão e comissão nas matrizes e suavização dos mapas classificados, com a eliminação de classes de 10 e 75 pixels por região, o que abrandou consideravelmente a estética dos mapas e consequentemente a diminuição de erros.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, Processamento de Imagens, Uso do solo.

Abstract: The main objective of this study is to ascertain the performance of the TerraView 4.2.2 software performing the classification oversees through the spectral pattern on Landsat 5, associated with comparing the land use of the Lavapés and Capivara's watersheds, set in Botucatu/São Paulo using remote sensing and GIS. The areas of supervised training were set from nine classes for Lavapés watershed, and seven for Capivara watershed, fundamental for the study and analysis of the use and occupation of land as forest, soil, crops – Agriculture, Water Bodies and Mesh urban, found among other classes. Such areas of supervised training were defined by polygons representing the respective classes of use and occupation of land, considering the color, brightness, pattern and texture emitted by each pixel of the image. The difference in results between the two watershedswas evaluated notorious, where the Capivara watershed showed better results, surely by having a smaller number of land use classes and a smaller urban area, thus causing less confusion for the algorithm. Another obvious factor was the clear difference of products derived from the classification generated and subsequently post-classed with the majority filter, where ever after reclassification accuracy has always been high, presented less errors of omission and commission in the headquarters and smoothing of classified maps, with the elimination of 10 and 75 pixels per region classes, which greatly slowed the aesthetics of maps and therefore decrease errors.

Keywords: Geoprocessing, Remote Sensing, Image Processing, Use of the soil.

1. INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto tem papel significativo no ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica), como uma das alternativas mais viáveis para extração de informações sobre os diversos usos do solo, assim, gerando grande número de informações e possibilitando programação de ações adequadas para tomada de decisões por constituir ferramentas de articulação e informações geoespaciais (FUSHITA, et al., 2013). A partir do conhecimento das características físicas dos alvos de uma dada região, e seu comportamento espectral (interação da radiação solar com os elementos que compõe o mosaico da superfície terrestre como os rios, a vegetação, o tipo de solo, a rocha) é possível fazer um monitoramento das condições ambientais da área em questão e descobrir possíveis modificações (AMORIM, et al., 2007).

Múltiplos trabalhos utilizando diversas ferramentas SIG têm sido desenvolvidos com a intenção de delimitar e classificar bacias hidrográficas e os respectivos manejos do uso da terra nas mais variáveis áreas. Por outro lado, o número elevado de bandas que devem ser avaliadas, as extensas áreas de estudo com alto grau de detalhamento, torna bastante lento e trabalhoso o processo de interpretação de um determinado perímetro. Com base nessas dificuldades foram elaboradas as técnicas de classificação digital de imagens, que automatizam a metodologia de extração das imagens de satélite, minimizando a subjetividade da interpretação humana, bem como, reduzindo esforços e encurtando o tempo de trabalho do analista.

A forma mais usual e difundida entre os pesquisadores que trabalham com Sensoriamento Remoto e que foi adotada pelos softwares comerciais e livres que utilizam módulos de processamento de imagens, dividi os classificadores em supervisionados e não-supervisionados. A classificação supervisionada, que foi empregada no presente trabalho requer conhecimentos prévios das classes de alvos, a fim de classificar a imagem nos alvos de interesse pré-fixados pelo analista, onde o algoritmo precisa ser treinado para poder diferenciar as classes uma das outras.

Dentro desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar desempenho do software TerraView bastante utilizado no Brasil e em diversas

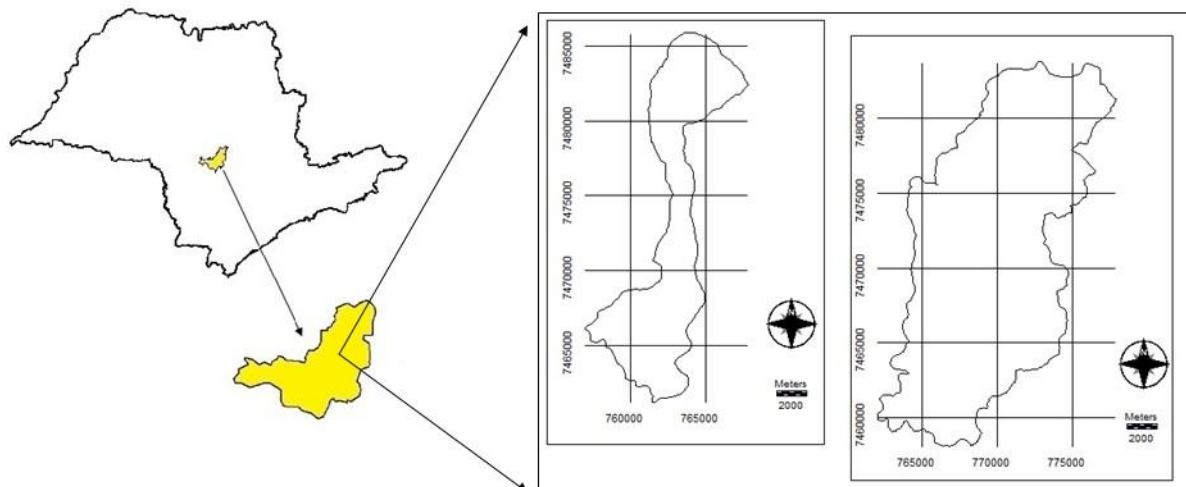
partes do mundo realizando a classificação supervisionada para mapear áreas que apresentam padrão espectral associado aos diversos usos da terra, por meio do método estatístico de Máxima Verossimilhança e a influência dos respectivos filtros no produto final da classificação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrange as bacias hidrográficas dos rios Lavapés e Capivara, situadas no Município de Botucatu, região Centro-Oeste do Estado de São Paulo entre as coordenadas geográficas 22° 47’10” a 22° 52’38” de latitude S e 48° 22’07” a 48° 26’38” de longitude W (Figura 1).

Para realização do georreferenciamento da área de interesse, foi obtido pelos softwares IDRISI versão Selva e o ArcGIS 10.1, utilizando como pontos de controle a base cartográfica da carta planialtimétrica da folha Botucatu (SF-22-R-IV-3), escala 1:50000 e equidistância vertical de 20m situada no fuso 22, Datum Córrego Alegre.

Figura 1: Localização das bacias hidrográficas dos rios Lavapés e Capivaras



Fonte: Os autores

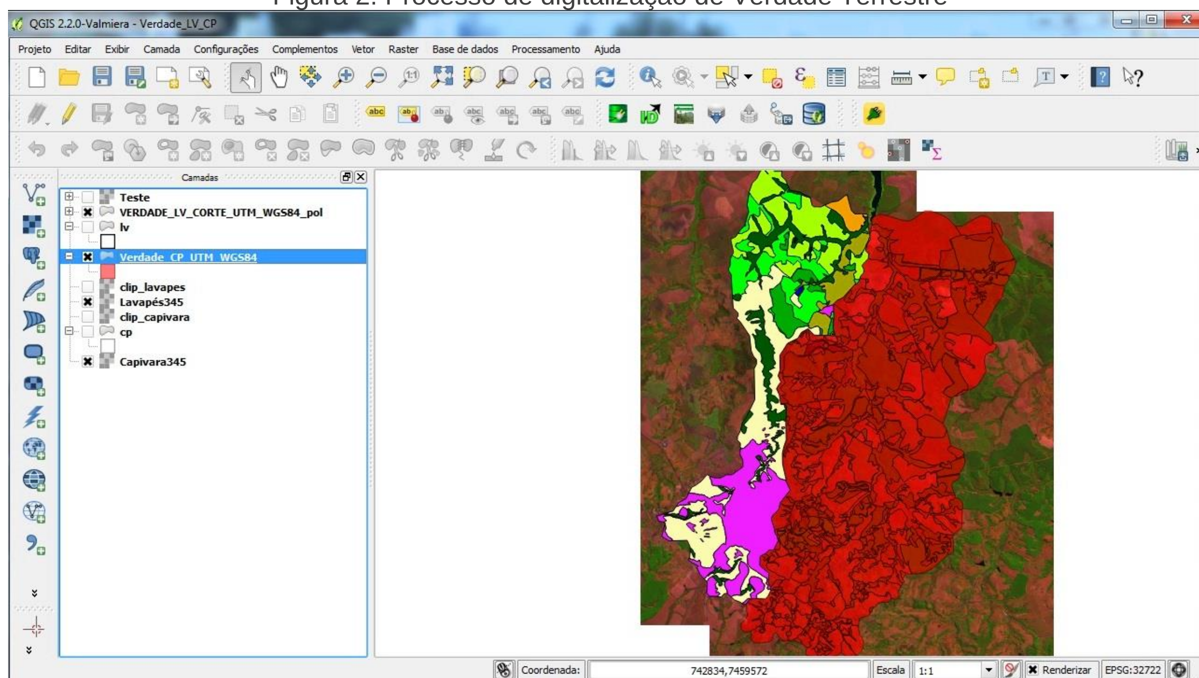
Para a classificação supervisionada por máxima verosimilhança também conhecida como “MAXVER”, foram utilizados dados coletados pelo sensor Thematic Mapper de uma imagem do satélite LANDSAT-5, atuando com sete bandas espectrais, de forma que no presente trabalho, será utilizado três, com a composição RGB, composto pelas das bandas 3, 4 e 5 (TM3, TM4 e TM5) com escala 1:50000,

na órbita 220, ponto 76 inserida no mosaico de recobrimento sobe o estado de São Paulo, com resolução de 30 X 30 metros, com data de passagem em 19 de setembro de 2011.

A imagem orbital foi registrada no software ArcGIS 10.1 com auxílio da carta planialtimétrica da folha Botucatu SF-22-R-IV-3, onde a mesma foi exportada para o formato GEOTIFF.

A partir da imagem de satélite, elaborou-se um mapa da verdade terrestre do uso e ocupação das terras nas bacias hidrográficas dos rios Lavapés e Capivara utilizando-se do software QGIS 2.2.0 (Figura 2). Para auxiliar na interpretação visual das áreas de cobertura vegetal, foi utilizado o Google Earth como ferramenta de apoio, permitindo delimitar com maiores detalhes as ocupações, onde foram identificadas 9 classes de uso e cobertura para bacia do rio Lavapés e 7 classes para bacia do rio Capivara no ano de 2011 por meio da imagem derivada do sensor TM a bordo do Landsat 5. De posse do arquivo completo vetorizado, o mesmo foi exportado em formato GEOTIFF para o IDRISI Selva edição 17.0 (EASTMAN, 2012).

Figura 2: Processo de digitalização de Verdade Terrestre



Fonte: Os autores

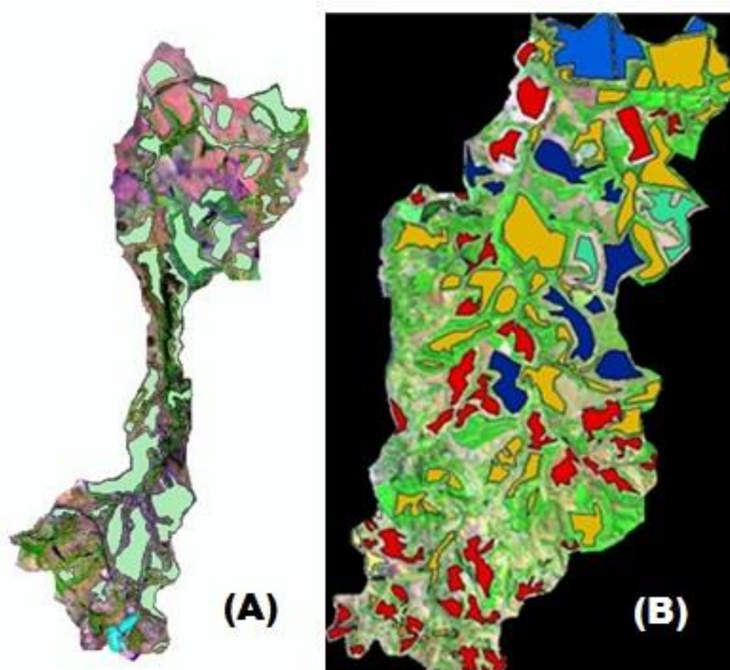
As áreas de treinamento supervisionado foram definidas por meio de polígonos que representaram as respectivas classes de uso e ocupação da terra,

considerando a cor, brilho e textura emitida por cada pixel da imagem. Assim, cada polígono supervisionado, teve um conjunto de pixel com o mesmo contexto, iguais feições e padrões, sendo consolidado o mesmo objeto irradiante.

Área de treinamento (training sites) é uma amostra homogênea da classe com toda a variabilidade dos níveis de cinza. É recomendado que o usuário adquira mais de uma área de treinamento (CROSTA, 1992), utilizando o maior número de informações disponíveis, como trabalhos de campo, mapas, dentre outras informações. O número de "pixels" de treinamento de uma classe aumenta com a complexidade da área a ser classificada. Neste trabalho, foram utilizados 47 training sites para a bacia do rio Lavapés e 55 para a bacia do rio Capivara.

Assim sendo, a classificação supervisionada MAXVER (máxima verossimilhança) foi realizada por meio do software TerraView, onde foram definidas amostras de treinamento (Figura 3), tomando como base o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2006), por meio de polígonos representados nos três aplicativos, onde os mesmos representam as classes de uso e ocupação da terra, conforme a tonalidade de cor, texturas e padrão dos alvos identificados, sendo assim divididos em: Água, Cana 1, Cana 2, Cana 3, Citrus, Mata, Pastagem, Solo em Cultivo e Área Urbana para bacia do rio Lavapés, bem como Cana, Citrus, Mata, Pastagem, Solo em Cultivo, Áreas Úmidas e Área Urbana para bacia do rio Capivara.

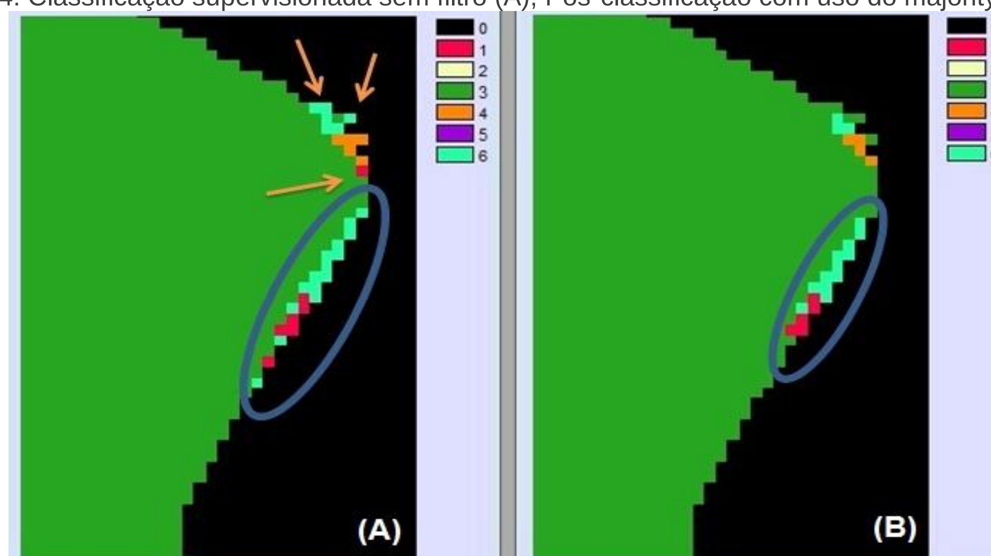
Figura 3: Amostras de treinamento (training sites) nas bacias dos rios Lavapés (A) e Capivara (B)



Fonte: Os autores

Também foi utilizado no TerraView, como forma de pós-classificação, a extensão Filtro Majoritário (*majority filter*) para a “limpeza” de pixels que possivelmente tenham sido classificados de forma equivocada pelo algoritmo do software (Figura 4), aparecendo como pequenos pontos dentro de classes maiores, uniformizando as classes de uso e eliminando pontos isolados, classificados diferentemente de grupos vizinhos. Contudo, é gerada uma segunda classificação do mesmo SIG (TerraView) com menos ruídos, por sua vez, com menor erro agregado.

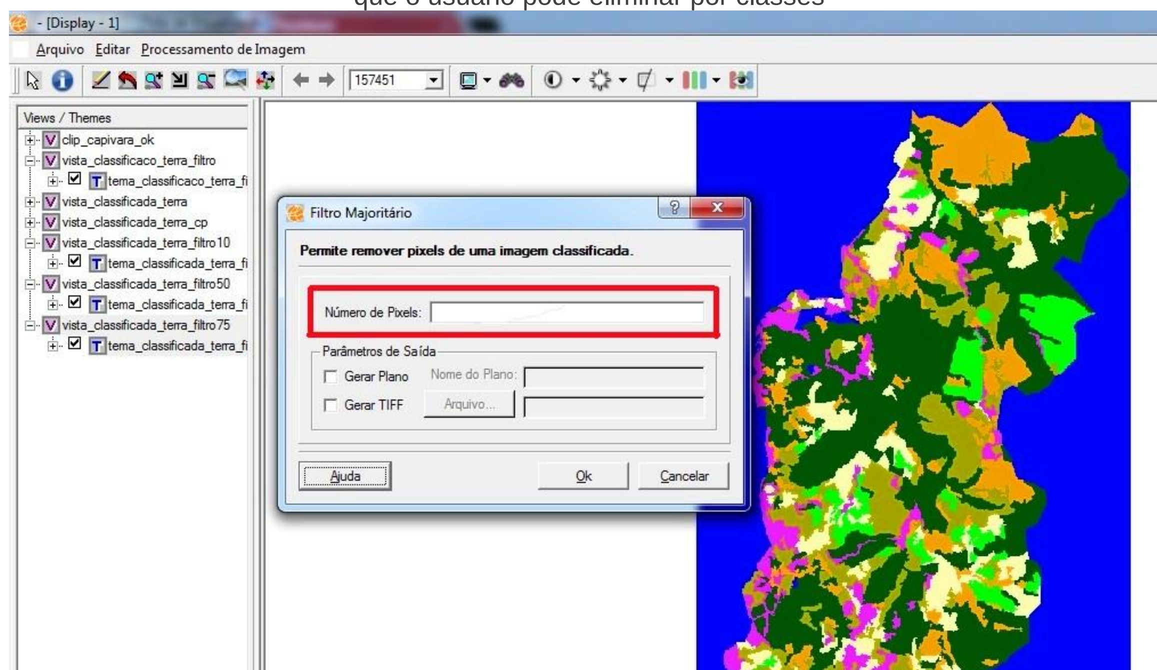
Figura 4: Classificação supervisionada sem filtro (A); Pós-classificação com uso do majority filter (B)



Fonte: Os autores

O software livre Terraview 4.2.2 possui em sua extensão de Filtro Majoritário a flexibilidade da escolha referente à quantidade de pixels que o usuário pode eliminar por classes em sua pós-classificação (Figura 5), ou seja, reduzir os ruídos de pixels classificados em classes não pertencentes ao mesmo. Com essa opção, o usuário pode fazer inúmeras tentativas de pós-classificação até chegar a uma acurácia mais próxima da desejada.

Figura 5: Extensão de Filtro Majoritário do TerraView e sua opção de escolher a quantidade de pixel que o usuário pode eliminar por classes



Fonte: Os autores

Foram elaborados vários testes de pós-classificação com números de exclusão de pixels baixo, moderado e altos, porém, a acurácia tende a cair quando se eleva bastante o numero de exclusão de ruídos, pois com altos grupos de pixels migrados de uma classe para outra, o algoritmo tende mover não só os pixels que causam ruídos, mas também pixel que já se encontra em sua classe verdadeira, assim, fazendo o sentido inverso do que seria uma satisfatória pós-classificação.

Para identificar a melhor classificação, foram cruzados os mapas de MAXVER derivados do TerraView com a verdade terrestre, onde a mesma se caracteriza como a real utilização do solo, apontando a exatidão (acurácia) de cada classificação, cruzando matrizes de pixel ou conjuntos de pixels. O índice Kappa (Tabela 1) é o mais recomendado por utilizar todas as células da matriz ao invés de somente os elementos diagonais, diferentemente de métodos que fazem uso apenas da Exatidão Global, utilizando dados derivados dos cruzamentos das classes, onde os mesmos se situam na diagonal principal da matriz de confusão, o que garante ao índice Kappa uma maior precisão da acurácia em relação aos outros métodos devido à medição de um pixel estar corretamente classificado, em relação à probabilidade de estar incorretamente classificado, avaliando a acurácia temática

por ser mais sensível as variações de erros de omissão e comissão, também conhecido na literatura como erro de inclusão. (DEMARCHI et. al., 2011).

Desta forma, o erro de omissão representa os pixels “perdidos” para outras classes, bem como o erro de comissão reflete os pixels “recebidos” de outras classes. Na matriz de erro, o erro de omissão indica a probabilidade de uma unidade amostral de referência estar corretamente classificada e o erro de inclusão representa a probabilidade que um pixel classificado no mapa, represente a categoria no terreno. Erros de inclusão ocorrem quando um ponto é identificado como de uma classe, quando na realidade pertence à outra categoria, enquanto que os erros de omissão ocorrem quando um ponto é identificado como pertencente à outra categoria, quando, na realidade, é membro de uma determinada classe (PIROLI, 2010).

Tabela 1: Intervalos de caracterização da acurácia em relação a verdade terrestre

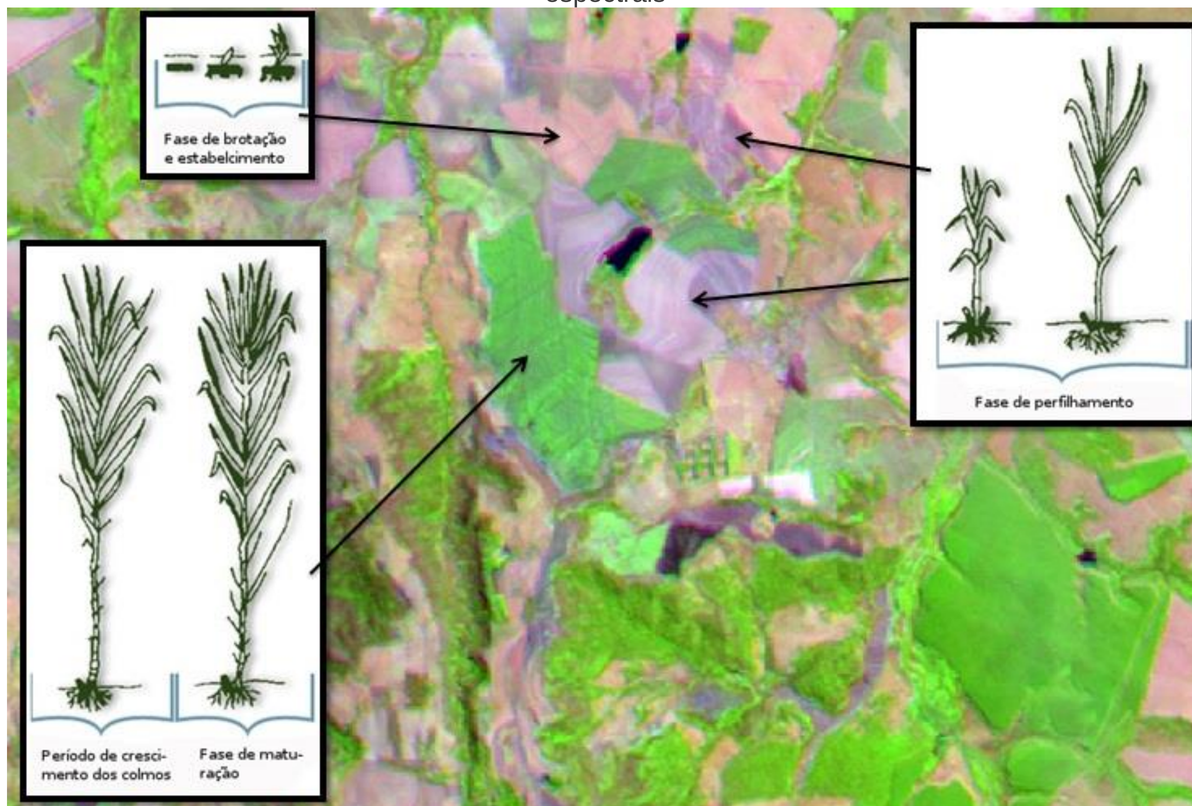
Valor de Kappa	**Qualidade da Classificação**
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em decorrência da variação temporal das culturas encontradas na área estudada, é que durante a o processo de escolha de amostras de treinamento (training sites) e a elaboração da verdade terrestre, o usuário tem que determinar várias subclasses da mesma cultura, como elaborado por Rodrigues; Rodrigues; Tagliarine (2014), ou avaliar todas as amostras em uma mesma classe, onde desta forma irá ocorrer um grande desvio padrão e por sua vez uma confusão entre classes e diminuição significativa da acurácia. Na imagem de composição RGB (Figura 6) podemos observar essa variação fenológica, da cana de açúcar, assim, subdividida em três subclasses.

Figura 6: Imagem de composição RGB e subclasses da cana de açúcar com diferentes respostas espectrais



Fonte: Os autores

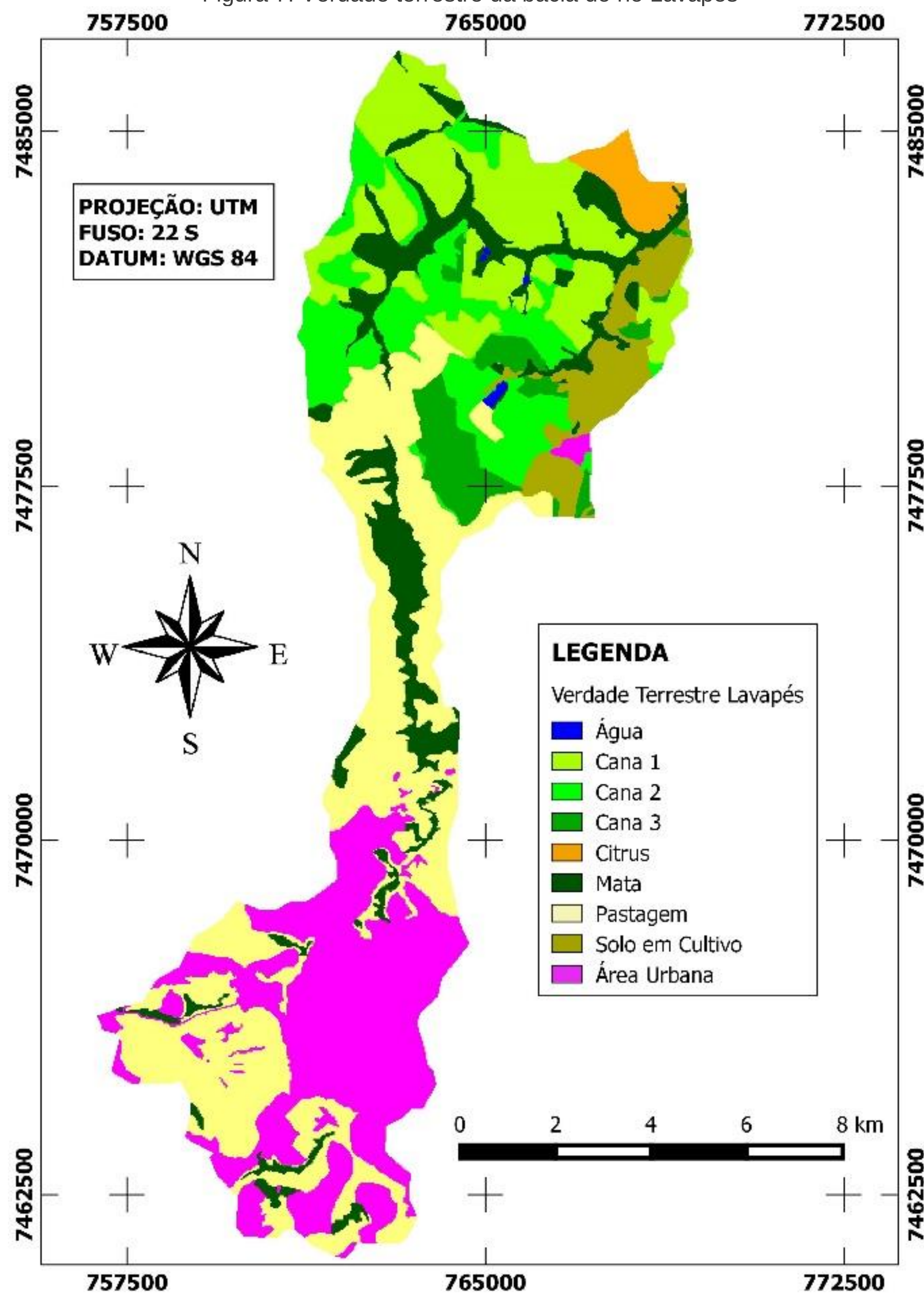
Na região das bacias do Lavapés e Capivara são praticados múltiplos tipos de manejo, onde pode ser encontrado plantios de culturas desde a escala de subsistência, passando por pequenas e médias propriedades rurais, até maiores estruturas agroindustriais, assim, constituindo um panorama de grande complexidade a ser mapeado e posteriormente modelado, onde a lista de ocupação e uso das terras é muito diversificado.

Um agravante à metodologia são as plantas daninhas, comuns em pastagens e solos cultivados com diversas formas de cultura, pois elas ocasionam interferência no padrão espectral das referidas classes, assim, proporcionando “ruído” que altera a resposta espectral pura das culturas induzindo a erros de classificação digital.

Outra dificuldade para o mapeamento da região estudada, fazendo-se uso de imagens de orbitais é a ambiguidade espectral entre classes de mesma cultura. Tais erros podem ser inferidos pela apreciação de índices de exatidão específicos para cada classe da modelagem, para tanto, erros de omissão e comissão.

A verdade terrestre referente à bacia do rio Lavapés (Figura 7) foi obtida como resultado da real utilização do uso do solo na área de estudo, assim, realizado o índice para comparação com as classificações MAXVER provenientes do TerraView.

Figura 7: Verdade terrestre da bacia do rio Lavapés



Fonte: Os autores

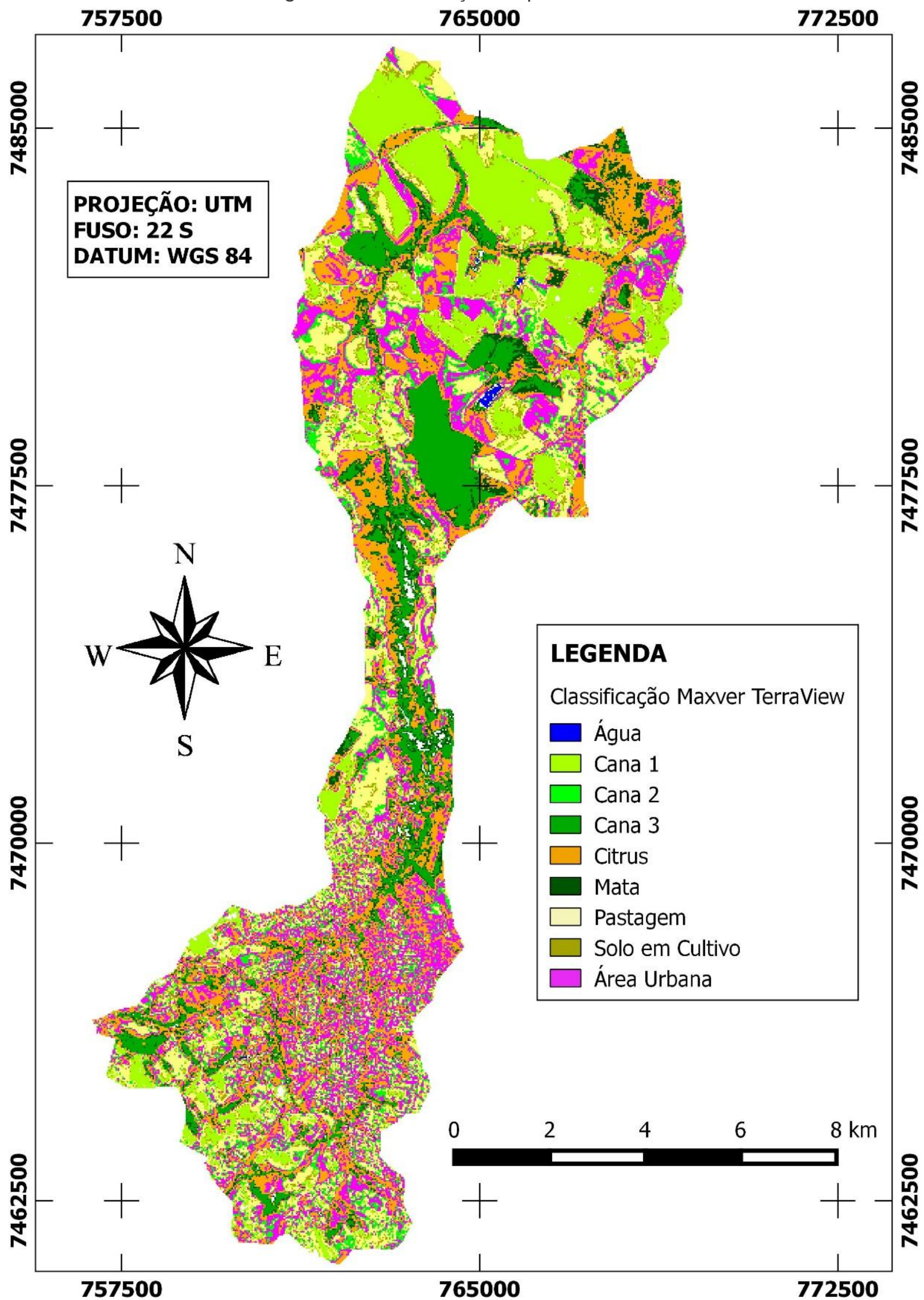
A classificação supervisionada derivada do software TerraView (Figura 8) por meio do aplicativo MAXVER (modelagem do algoritmo da máxima verossimilhança), que considera a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis do conjunto de pixels das amostras por classes, apresentou resultado razoável com relação ao índice Kappa, com valor na ordem de 0.21.

O Terraview possui em sua extensão de Filtro Majoritário a flexibilidade da escolha referente à quantidade de pixels que pode ser eliminado por classes em sua pós-classificação, onde o usuário estabelece a quantidade de pixel por bloco.

Por tal ferramenta apresentar esta mobilidade de inúmeras tentativas a pós-classificação com seu Filtro Majoritário, foram modeladas e consideradas para o presente resultado, as pós-classificações com retirada de grupos 10 pixels e grupos com 75 para redução de ruídos provocados por pixels fora de suas respectivas classes. O grupo de 10 pixels foi considerado por ser valor mínimo significativo de uma pós-classificação com o TerraView. Todavia, o grupo de 75 pixels foi considerado por apresentar o valor majoritário máximo referente a grupos de pixels removidos que causam suavização e melhor acurácia.

Os testes feitos com valores maiores que 75 (90, 150, 200 e 250) ocasionaram uma maior homogeneização das classes, porém uma acurácia menor. Isso ocorreu devido a um grande deslocamento de pixels, onde o algoritmo desloca os grupos de pixels ruidosos (que estavam classificados incorretamente), mas também os grupos classificados em suas classes corretas, desta forma a pós-classificação com valores acima de 75 pixels suaviza o mapa e modifica classes corretas.

Figura 8: Classificação Supervisionada TerraView

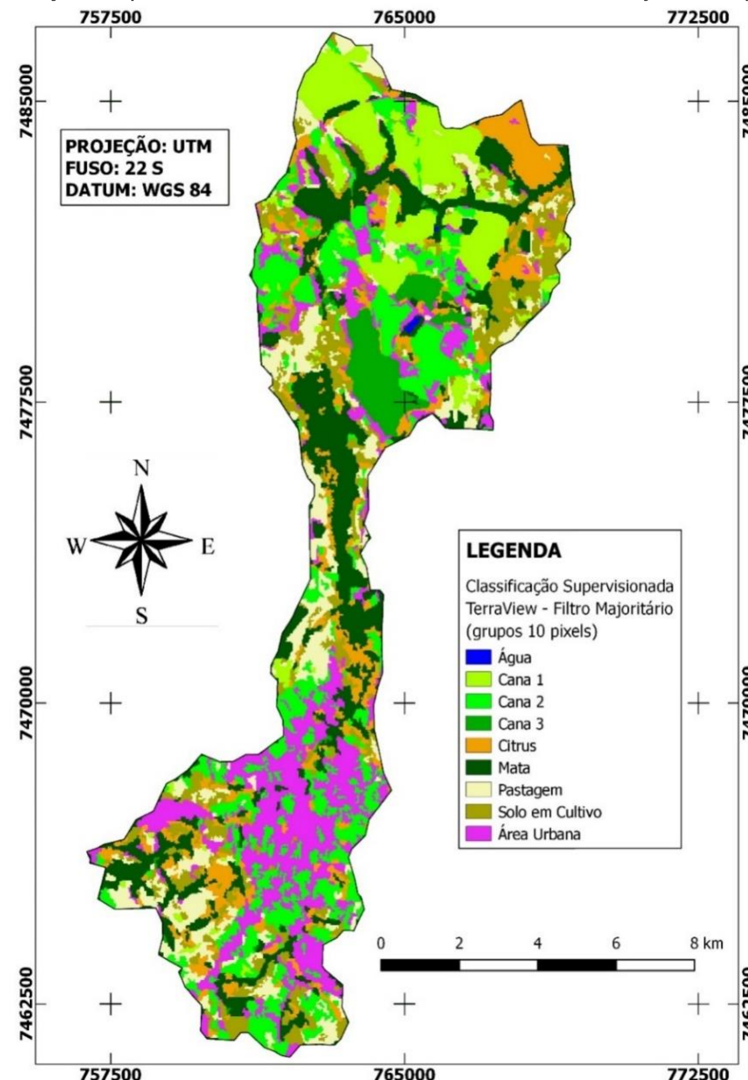


Fonte: Os autores

Assim sendo, a modelagem da pós-classificação com retirada de grupos 10 pixels por região reduziram de forma bastante significativa os ruídos de pixels

isolados elevando a acurácia das primeiras classificações do TerraView, saindo de 0,21 (onde faziam parte do intervalo referente a “razoável” segundo Landis e Koch, 1977) saltando para ordem de 0.45 (Figura 9), onde o mapa foi suavizado e suas estimativas recalculadas, elevando a acurácia de classificação para o intervalo de “boa” segundo a escala Kappa. As classes mata, solo em cultivo, cana 2 e pastagem que vinham apresentando erros de omissão nas outras matrizes, apresentaram mais acertos nas suas respectivas classes, porém, a água passou a ter mais pixels confundidos com a mata. Com o uso do filtro (grupo de 10 pixels) os valores globais em diagonal foram remodelados, assim, elevando significativamente a acurácia do mapeamento.

Figura 9: Classificação Supervisionada TerraView 4.2.2 com Filtro Majoritário (grupos 10 pixels)



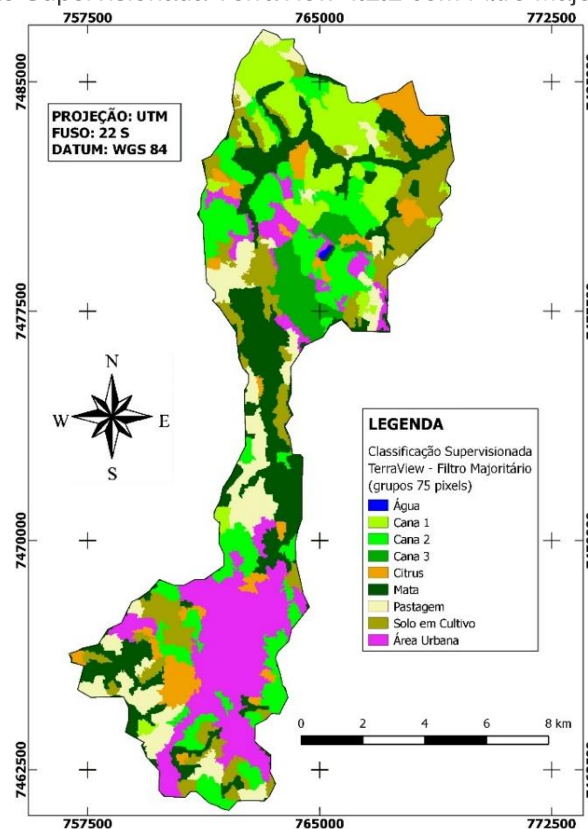
Fonte: Os autores

Melhorando ainda mais a suavização e as estimativas de realinhamento de matriz e acurácia (Figura 10), a modelagem da pós-classificação com retirada de grupos 75 pixels por região atingiu a ordem de 0,523, observando-se um grande aumento na acurácia permitindo uma menor inclusão de pontos de outras classes, assim, tornando-se a melhor classificação supervisionada da bacia do Lavapés, com mais de 50% de acerto.

Pode ser notado de forma clara, que o desempenho do classificador com a retirada de grupos 75 pixels por região foi bastante semelhante à retirada do grupo de 10, uma vez que se passou a existir menos erros de omissão, bem como menos erros de comissão que determinam grupos pixels ou pixel isolado que são atribuídos a uma classe do mapa final ao qual não pertence, enquanto deveriam estar em sua classe de origem (outra classe diferente da que foi classificada).

A classe de água continuou sendo interferida pela mata, porém, com uma pequena melhoria no valor global. O citrus apresentou melhor ajuste ao filtro 75, confundindo apenas 74 pixels com a classe mata.

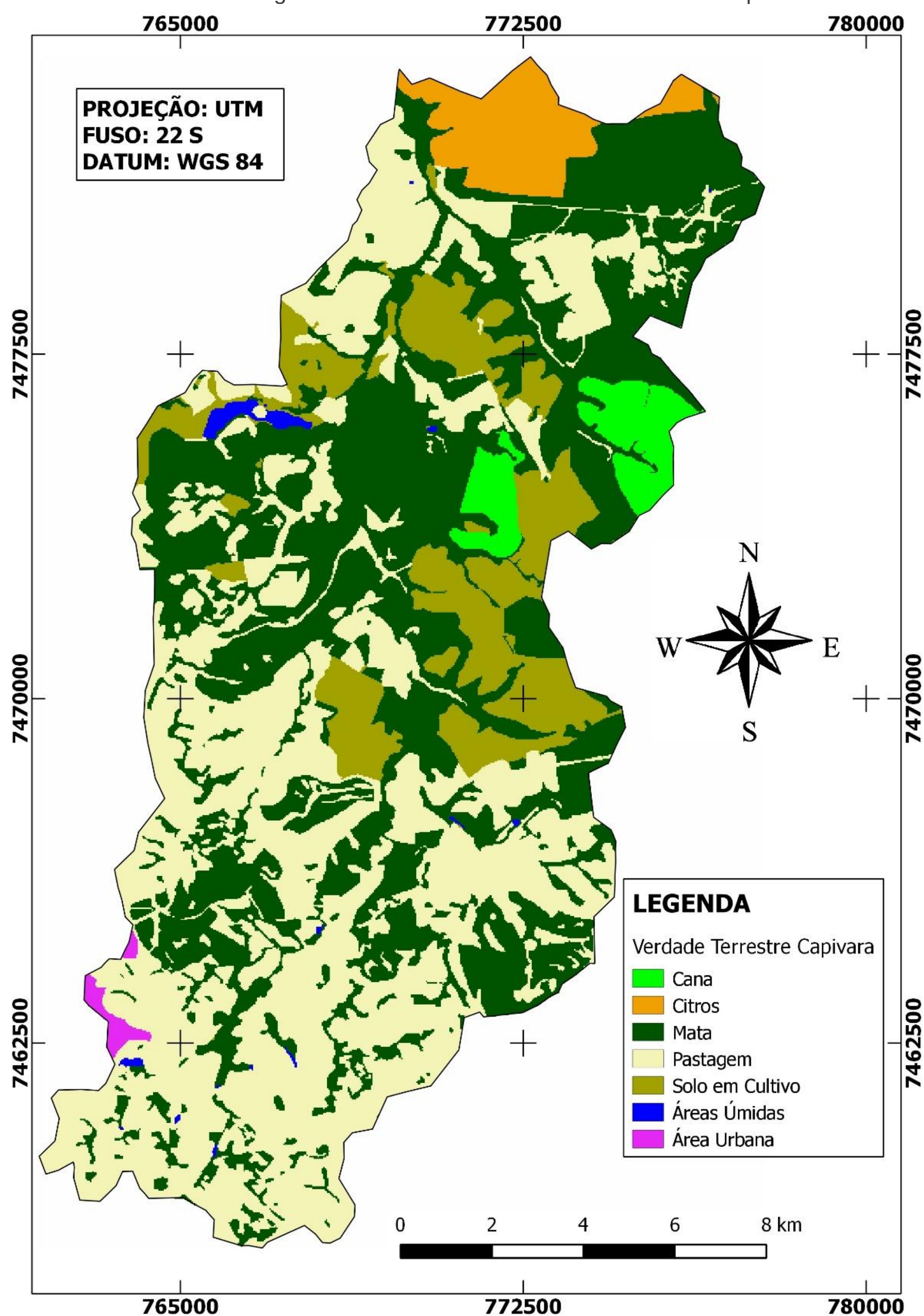
Figura 10: Classificação Supervisionada TerraView 4.2.2 com Filtro Majoritário (grupos 75 pixels)



Fonte: Os autores

Tal como a bacia do rio Lavapés, a verdade terrestre referente à bacia do rio Capivara (Figura 11) foi obtida como resultado da real utilização do uso do solo na área de estudo, em seguida realizado as classificações.

Figura 11: Verdade terrestre da bacia do rio Capivara

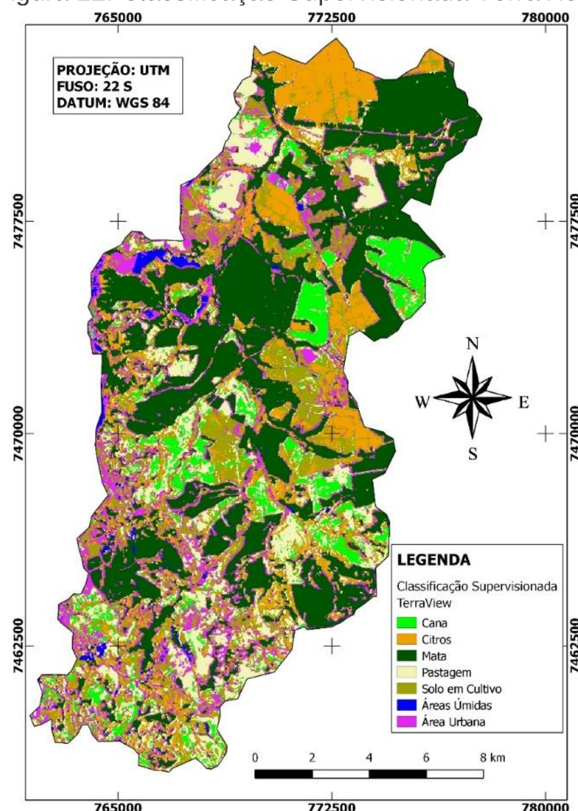


Fonte: Os autores

As classificações da bacia do Capivara tiveram desempenho superior às classificações da bacia do Lavapés, pois a área urbana inserida nesta bacia é muito maior do que a malha urbana da bacia do Capivara, onde tal classe gerou muito ruído em classes distintas, fato corroborado por Andrade e Silva (2011), onde esta mesma classe interferiu negativamente causando confusão ao algoritmo e consequentemente diminuição da acurácia.

Desta forma, as classificações da bacia do Capivara processadas pelo TerraView 4.2.2, foram observadas que as classes com maiores erros de comissão foram solo em cultivo, área urbana e a pastagem. Alguns maiores erros de omissão foram observados para a cana, a mata e novamente a pastagem, por apresentar a classes com maior área dentro da bacia, consequentemente com vários pontos de ambiguidade espectral confundindo o processamento do algoritmo, o que deu origem a uma classificação (Figura 12) com um valor Kappa na ordem de 0,476, sendo considerada uma boa modelagem segundo os intervalos de acurácia da Tabela 1.

Figura 12: Classificação Supervisionada TerraView



Fonte: Os autores

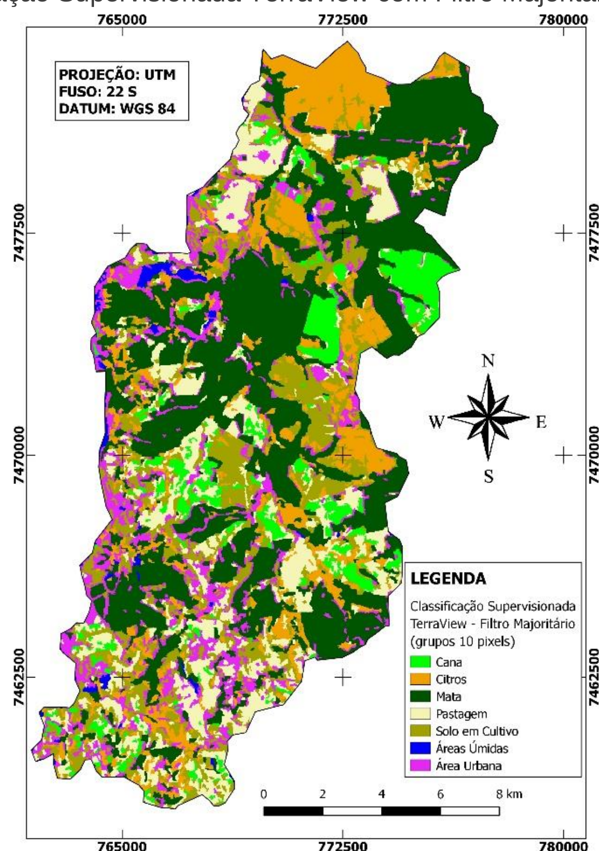
Os erros de omissão juntamente com os erros de comissão indicam que pouco mais de 53% das áreas reais foram mapeados como outros usos, consequentemente, 47% foram corretamente mapeados, isso porque as confusões na interpretação decorrentes das semelhanças entre as classes mais afetadas pelos erros, além do fator ambiguidade espectral também são afetadas pelo relevo acidentado onde as referentes classes se encontram.

Desta forma, a imagem orbital utilizada neste no presente trabalho é detentora também da variável textura, que representa a rugosidade topográfica da superfície, podendo ter suas estimativas relativamente transformadas devido à variação vertical de altura da superfície nos vales das bacias, que por sua vez influencia nos tipos de dosséis da vegetação.

Para minimizar a corrupção dos ruídos causados por padrão espacial errôneo, considerando os grupos de pixels vizinhos, foi utilizado mais uma vez o filtro majoritário do TerraView na pós-classificação com retirada de grupos 10 pixels por classe e/ou região, obtendo uma melhora significativa referente as outras classificações, porém, ainda permanecendo com o resultado de “boa” classificação segundo a Tabela 1, com valor na ordem de 0,50.

Por meio da Figura 13, nota-se que a imagem processada pelo método de classificação supervisionada por meio de filtros tende a possuir resultados mais condizente com a realidade dos produtos orbitais derivados do Landsat 5, onde todos os usos apresentaram valores de acurácia superiores a classificação supervisionada clássica, onde apenas se utiliza as áreas detreinamento (*training sites*).

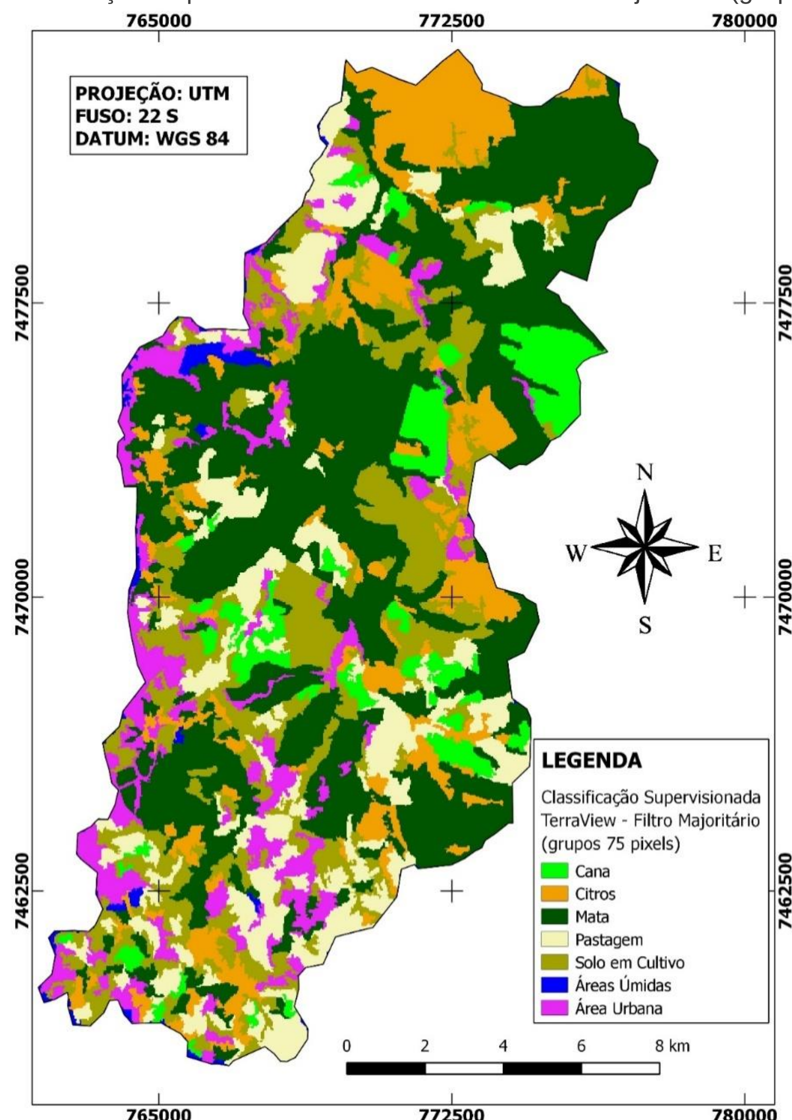
Figura 13: Classificação Supervisionada TerraView com Filtro Majoritário (grupos 10 pixels)



Fonte: Os autores

De modo geral, com todas as variáveis que podem causar tendência ao erro, pode-se dizer que os resultados da modelagem derivada da pós-classificação do TerraView fazendo-se uso da retirada do grupo de 75 pixels por classes de uso da terra foi mais coerente, atingindo um coeficiente Kappa na ordem de 0,515, alcançando mais de 50% de acerto referente a verdade terrestre. O filtro majoritário, onde a célula principal, a partir de um aspecto, teve uma contagem numérica de pixels adjacentes, cada um com um valor, onde a partir de tais valores predominantes, estima o pixel central alterado de acordo com os valores majoritário dos grupos. Esta função provocou um novo delineamento e suavização das bordas de todas as classes de uso, tornando o mapa aparentemente mais agradável, com um visual livre de ruídos (Figura 14).

Figura 14: Classificação Supervisionada TerraView com Filtro Majoritário (grupos 75 pixels)



Fonte: Os autores

Assim como foi discutido na pós-classificação do Lavapés, a reclassificação fazendo-se uso no filtro majoritário e exclusão dos grupos de pixels por região, a retirada de grupos elimina de forma satisfatória os ruídos a abranda as classes e todo o mapa classificado por se tornar mais confortável ao visualizá-lo, porém, grandes grupos de classes classificados pelo algoritmo de forma equivocada não serão eliminados ou realocados pelo filtro, pois este apenas elimina grupos ruidosos.

Ao ser trabalhado acima de 75 pixels por exclusão, o filtro passa a retirar pixels corretamente classificados e a alocar-los em grupos que não pertencem, ou

seja, acima do valor de 75 o caminho de limpeza passa a ser inverso reduzindo a acurácia, acentuando os erros de comissão.

4. CONCLUSÕES

Devido os mais variados estágios de desenvolvimento e produção da Cana e de outras culturas presente nas bacias, bem como grandes áreas de solo preparado para o manejo, onde ora emitem diversas respostas espectrais de um mesmo uso, ora classes distintas apresentaram assinaturas espectrais idênticas ou muito próximas, o que caracterizou um alto grau de confusão na interpretação do algoritmo, contribuindo para resultados razoáveis (intervalos de 0,20 – 0,40) e resultados bons (intervalos de 0,40 – 0,60).

Ficou evidente à diferença dos produtos derivados a partir da classificação supervisionada por máxima verossimilhança pós-classificados com os filtros majoritários, onde após a reclassificação a acurácia foi elevada, apresentado menos erros, bem como suavização dos mapas classificados.

Existe a necessidade de ser utilizado em trabalhos futuros imagens com melhor resolução espacial, principalmente se a área a ser estudada for detentora de classe complexas como áreas urbanas e culturas iguais com estágios fenológicos distintos, pois uma imagem com melhor resolução espacial, assim distinguindo com mais propriedade objetos que são espacialmente próximos, e também com uma melhor resolução espectral para diferenciar alvos que possam apresentar respostas espectrais semelhantes em um determinado intervalo do comprimento de onda.

Inúmeros estudos que se fizeram uso de imagens Landsat para classificação supervisionada e alcançaram altos índices, utilizaram áreas de estudo com escalas muito maiores e menos detalhadas. Por sua vez, usuários de classificação supervisionada que trabalharam com áreas de escala local, conseguintemente, mais detalhada, tiveram problemas com erros de acurácia e seus algoritmos classificadores devido ao alto detalhamento e as semelhanças das respostas espectrais, atrelado a uma resolução espacial de 30 x 30 metros.

É importante salientar que, provavelmente, se incorporados subdivisões espectrais de usos que apresentam tempos fenológicos distintos, bem como imagens com melhor resolução espacial, aplicação dos métodos em uma área com

mais homogeneidade, com superfície menos rugosa e espectralmente menos ruidosa devido a sombras e outros aspectos que provocam dispersão de ondas eletromagnéticas, os resultados de acurácia para o TerraView 4.2.2 (MAXVER), serão possivelmente mais elevados e confiáveis, pois tal ferramenta apresenta um alto poder de processamento de dados digitais.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L.; SILVA, U. M. Avaliação da classificação não-supervisionada em imagens de alta resolução, utilizando a lógica fuzzy. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. 2011, Curitiba, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 7418-7425.

AMORIM, R. F.; ALMEIDA, S. A. S.; CUELLAR, M. Z.; COSTA. A. M. B.; GOMES, C. Mapeamento de Uso e Ocupação do solo na Bacia Hidrográfica Piranhas/Açu, utilizando imagens CBERS e técnicas de classificação supervisionada. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR.. 2007, Florianópolis, SC. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007, p. 3710.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L.. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo - SP usando imagens Landsat-5. Ra'e ga (UFPR), v. 21, p. 234-271, 2011.

EASTMAN, J. R.. IDRISI Selva – GIS and Image Processing Software – version 17.0. Worcester-MA/USA: Clark Labs, 2012.

CROSTA, A. P.Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. IG/UNICAMP, Campinas – SP, v 1, p 193, 1992.

FUSHITA, A. T.; REIS, R. R.; FARESIN, L.; SANTOS, J. E. Desempenho da classificação supervisionada em diferentes programas: comparação por meio do uso da terra e do índice de naturalidade da paisagem. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. 2013, Foz do Iguaçu, PR. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013, p. 6465.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta topográfica: folha de Botucatu (SF-22-R-IV-3). Serviço gráfico do IBGE, 1969. Escala 1:50.000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra. 2ª ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Geração de Imagens (DGI-INPE). Banco de Dados Geográficos. Disponível em:<http://www.dgi.inpe.br/>. Acesso em: 08 jul. 2015.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Geração de Imagens (DGI-INPE). Catálogo de Imagens. Disponível em:<http://www.dgi.inpe.br/>. Acesso em: 15 abr. 2013.

LANDIS, R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, v.33, n.1, p.159-174, Mar. 1977.

PIROLI, E. L.. Introdução ao geoprocessamento. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 46p.

RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; TAGLIARINE, F. S. N. Comparação do desempenho de Sistemas de Informação Geográfica (IDRISI Selva e ArcGIS®) por meio de processamento digital de imagem. Revista Fórum Ambiental da Alta Paulista, Tupã, v. 10, n. 2, p. 265-280, 2014.

CAPÍTULO 04

IMAGEM ORBITAL APLICADA NA ANÁLISE DO USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE LENÇÓIS PAULISTA (SP)

Milena Montanholi Mileski
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: milena_mileski@hotmail.com.br

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Resumo: A partir da década de 1950, a população mundial cresceu rapidamente, atingindo hoje mais de 7 bilhões de habitantes, gerando assim o aumento do processo de urbanização. Para atender a demanda de bens de consumo duráveis e não duráveis da atual população, a economia agropecuária expandiu e, consequentemente ampliou suas fronteiras. Com isso, áreas destinadas à cultura agrícola e pastagem ocuparam espaços em que, anteriormente eram ocupados por matas ciliares e florestas; ocasionando a redução ou inexistência da vegetação que circunda as redes de drenagem e fragmentação das florestas. Nesse contexto, a análise do uso e ocupação do solo de Lençóis Paulista, através da utilização de Sistemas de Informações Geográficas e imagens do satélite Landsat, se torna necessária pois as principais empresas geradoras de emprego do município dependem diretamente da matéria-prima rural, como culturas agrícolas e reflorestamento, presentes em cerca de 72% do território do município.

Palavras-chave: fragmentação florestal, conflito e uso do solo, mata ciliar, imagem de satélite.

Abstract: Since the decade of 1950, the world population has dramatically increased, reaching nowadays around 7 billion people, which has caused an increase in the urbanization process. In order to supply the people's demand for durable and non-durable goods, there was an expansion in the agriculture economy, which has as a consequence the expansion of its frontiers. Areas for agricultural activities and pasture have used lands which had been previously characterized by riparian and native forests, resulting in the reduction or even inexistence of vegetation around the drainage network and forest fragmentation. In this context, the analysis of the use and occupation of the land of Lençóis Paulista, by means of the use of Geographical Information Systems and images generated by Landsat satellites, is necessary, since the main companies employing people in the city directly depend on rural goods, Such as agricultural crops and reforestation, cultures present in approximately 72% of the city's territory.

Keywords: *forest fragmentation, conflict and use of land; riparian forest; satellite imaging*

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da ocupação do solo e da sua localização em uma determinada região é essencial para o planejamento de uso ambiental e de extração de recursos naturais, visando à melhoria da qualidade de vida da população. Os dados experimentais obtidos de imagens orbitais são fundamentais para os estudos no campo científico, principalmente no planejamento de uso da terra, por possuírem um rico e importante potencial de variáveis mensuráveis dos aspectos superficiais do terreno.

A identificação, o mapeamento e a quantificação das ocupações do solo, com a análise visual da imagem de satélite são de fundamental importância para os profissionais que dependem de um levantamento mais detalhado dos alvos.

A cobertura vegetal (Vieira, 1978) tem grande influência nos processos de escoamento, pois atua no regime das águas, nas características do solo e no mecanismo hidrológico, retardando e desviando o escoamento superficial e, consequentemente, a erosão.

O conhecimento da ocupação do solo quanto à sua natureza, localização, forma de ocorrência, mudanças ocorridas em determinados períodos, são de grande valia para a programação de atividades que visam ao desenvolvimento agrícola, econômico e social da região (Politano et al., 1980).

O levantamento do uso atual da terra, necessário para fins de planejamento, pode ser obtido a partir da utilização de dados multiespectrais, fornecidos por satélites de Sensoriamento Remoto, associados às técnicas de interpretação (Pereira et al., 1989).

As vantagens de utilizar dados de sensoriamento remoto nos levantamentos do uso atual das terras (Freitas Filho, 1993) são para atingir um grande número de áreas de difícil acesso e fazer a identificação dos usos presentes na área em altas altitudes, possibilitando uma visão sinóptica da superfície terrestre, com repetitividade, viabilizando as ações de monitoramento.

Santos et al. (1993) comentam que o uso de imagens de satélite como base cartográfica é muito promissor devido ao seu relativo baixo custo, periodicidade de aquisição e fornecimento de importantes informações sobre mudanças no uso da terra.

CROSTA (1992) afirma que na classificação supervisionada é necessário que o usuário tenha conhecimento prévio da área a ser classificada. Essas áreas podem ser usadas como padrão de comparação, com a qual todos os píxels desconhecidos da imagem serão comparados para decidir a qual classe pertencem. A área da imagem que o usuário identifica como representativa de uma das classes é chamada área de treinamento.

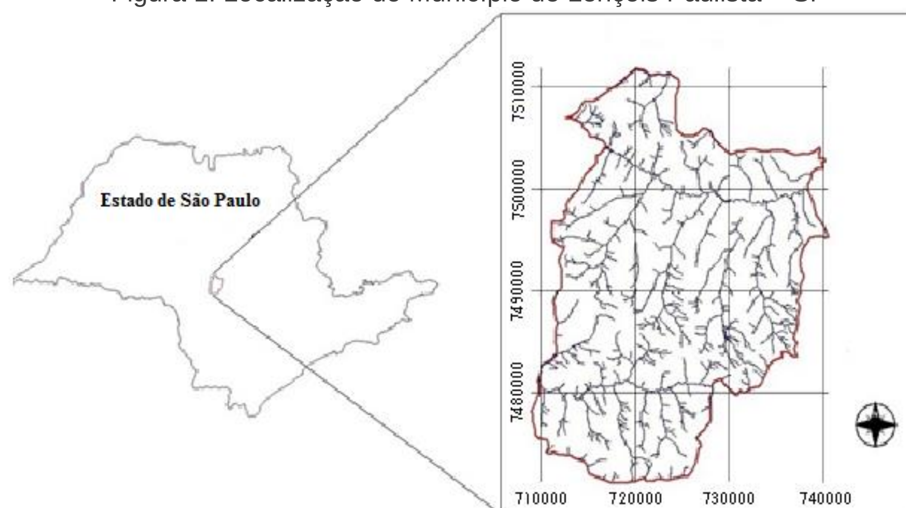
Nesse contexto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a evolução do uso da terra no Município de Lençóis Paulista (SP), no período de 1999 a 2014.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O Município de Lençóis Paulista – SP está localizado na latitude 22°35’55” S e longitude 48° 08’ 01” W Gr., entre os municípios de Bauru e Botucatu, faz parte do Centro Oeste paulista e sua principal via de acesso é a Rodovia Marechal Rondon, SP-300. A área do município corresponde a 804 km^2 (Figura 1).

De acordo com a Classificação Climática de Köppen, o clima do município é o tropical de altitude (CWa), justificada por sua altitude, cerca de 565 m. O solo predominante é o Latossolo, de acordo com a Classificação Brasileira de Solos (EMBRAPA,, 1999). Os biomas existentes no local são o Cerrado e a Mata Atlântica. No entanto, a vegetação de Mata Atlântica é muito escassa e se localiza em uma pequena área do município. Lençóis Paulista possui ampla rede de drenagem, no entanto seu principal rio é o Rio Lençóis.

Figura 1: Localização do Município de Lençóis Paulista – SP



Fonte: Os autores

Na delimitação das divisas do município foram utilizadas as cartas topográficas, escala 1:50.000 com equidistâncias verticais de 20 m, editadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para elaborar os mapas, foi necessário uma base cartográfica, que teve como base a Carta Planialtimétrica editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 1973, folhas de Lençóis Paulista, SF – 22 – Z – B – V – 1, em escala 1:50000 e também cartas dos municípios de Agudos (folha SF – 22 – Z – B – V – 4), Rio Palmital (folha SF – 22 – Z – B – V – 3), Pratânia (folha SF – 22 – Z – B – V – 4) e São Manoel (folha SF – 22 – Z – B – V – 3).

Como fonte de dados foram utilizadas as imagens de satélite nas bandas 3, 4 e 5, correspondentes às regiões do espectro visível, do infravermelho próximo e médio do Sensor TM, do LANDSAT 5, órbita 220, ponto 76, quadrante A, passagem de 8 de junho de 2009 e 2014, para elaboração do mapa de uso da terra do Município de Lençóis Paulista. O Sistema de Informações Geográficas - IDRISI Selva foi usado para as análises. Na coleta e confirmação das coordenadas dos pontos de controle a campo foi utilizado um GPS de Navegação Garmin XL 45.

Inicialmente, uma composição falsa cor foi elaborada com a combinação das bandas 3, 4 e 5, nas cores azul, verde e vermelho, respectivamente, pois esta apresenta uma boa discriminação visual dos alvos, possibilitando a identificação dos padrões de uso da terra de maneira lógica. Esta composição apresenta os corpos

d’água em tons azulados, as florestas e outras formas de vegetações em tons esverdeados e os solos expostos em tons avermelhados.

O georreferenciamento da composição falsa cor foi realizado através do módulo *Reformat/Resample* do SIG – IDRISI. Os pontos de controle para o georreferenciamento foram obtidos nas cartas topográficas e confirmados “in loco” no campo com o GPS. Após o georreferenciamento, foi feito o recorte da área do município de Botucatu e demarcadas as áreas de treinamento sobre a imagem com o cursor e o mouse em vários locais, procurando-se abranger todas as variações de cada ocupação do solo.

Para o georreferenciamento da imagem digital, utilizaram-se dois arquivos de pontos de controle. O primeiro foi criado usando a imagem digital e o outro, a carta topográfica. Os pontos de controle foram escolhidos de forma que cada um deles fosse facilmente identificado, tanto na imagem digital, como na carta topográfica. Foram determinadas as coordenadas de cada ponto e com estes dados foi feito um arquivo de correspondência, composto das antigas coordenadas (carta topográfica) e as novas coordenadas (imagem) para cada ponto escolhido, através do comando *Edit* do menu *DatabaseQuery*, presente no módulo *Analysis*. Para escolher a equação de melhor ajuste entre os dois sistemas de referência foi utilizado o menu *Resample* do módulo *Reformat*, o qual faz a reamostragem e a correção geométrica dos pontos de controle.

Em seguida, foram criadas as assinaturas pelo módulo *Makesig* e depois, a classificação supervisionada propriamente dita pelo método de Máxima Verossimilhança, através do módulo *Maxlike*.

Na classificação supervisionada, as classes de uso da terra foram identificadas e diferenciadas em 8 classes de usos das terras representadas por solo exposto, cultura agrícola, mata ciliar, água, pastagem, área urbana e mata. Nesta fase usaram-se seus padrões de resposta espectral. As áreas de treinamento foram delimitadas por polígonos desenhados sobre cada classe de uso da terra na imagem. Em seguida, foram indicadas as assinaturas para cada classe de uso da terra, criando-se um arquivo de assinaturas para todas as categorias. A imagem foi classificada com base nesses dados e as amostras de usos das terras duvidosas foram confirmadas a campo com uso do GPS.

A verificação do resultado da classificação foi avaliado estatisticamente através do Índice Kappa. O procedimento sugerido por Eastmann (1999) e por Simões (2001), inicialmente consistiu na geração de pontos aleatoriamente estratificados. O uso da terra no píxel referente à cada ponto foi identificado, sendo criado a seguir um arquivo de valores relacionado aos pontos amostrais da verdade terrestre. Estes dois arquivos foram associados e em seguida rasterizados, gerando uma imagem raster com a verdade terrestre. A seguir, através do módulo *Ermat* analisou-se estatisticamente a classificação supervisionada confrontando-a com a imagem contendo a verdade terrestre com a imagem classificada do uso da terra. O resultado desta confrontação é uma matriz de erros e o Índice Kappa geral e por categoria.

As áreas dos usos das terras do Município de Lençóis Paulista (SP) foram determinadas utilizando o comando *Area* do menu *Database Query*, pertencente ao módulo *Analysis*.

Para a identificação dos alvos em suas cores reais foram utilizadas as chaves de interpretação para imagens (Rocha, 1986).

O levantamento do uso da terra em uma região abrange características fundamentais para a compreensão dos padrões de organização do espaço (Delmanto Júnior, 2003). No uso do solo de Lençóis Paulista, foram considerados os atributos solo exposto, cultura agrícola, reflorestamento, mata ciliar, água, pastagem, área urbana e mata.

Lençóis Paulista é um município em que, o solo de cerca de 80% do território está ocupado por culturas agrícolas e reflorestamento que visam produzir matérias-primas para às indústrias geradoras de empregos do município.

Nesse contexto, a análise do uso e ocupação do solo no município de Lençóis Paulista é de grande importância para que, no futuro, possam surgir políticas públicas com objetivo de recuperação e preservação da mata nativa.

O presente trabalho tem por objetivo identificar o uso e ocupação do solo no Município de Lençóis Paulista – SP.

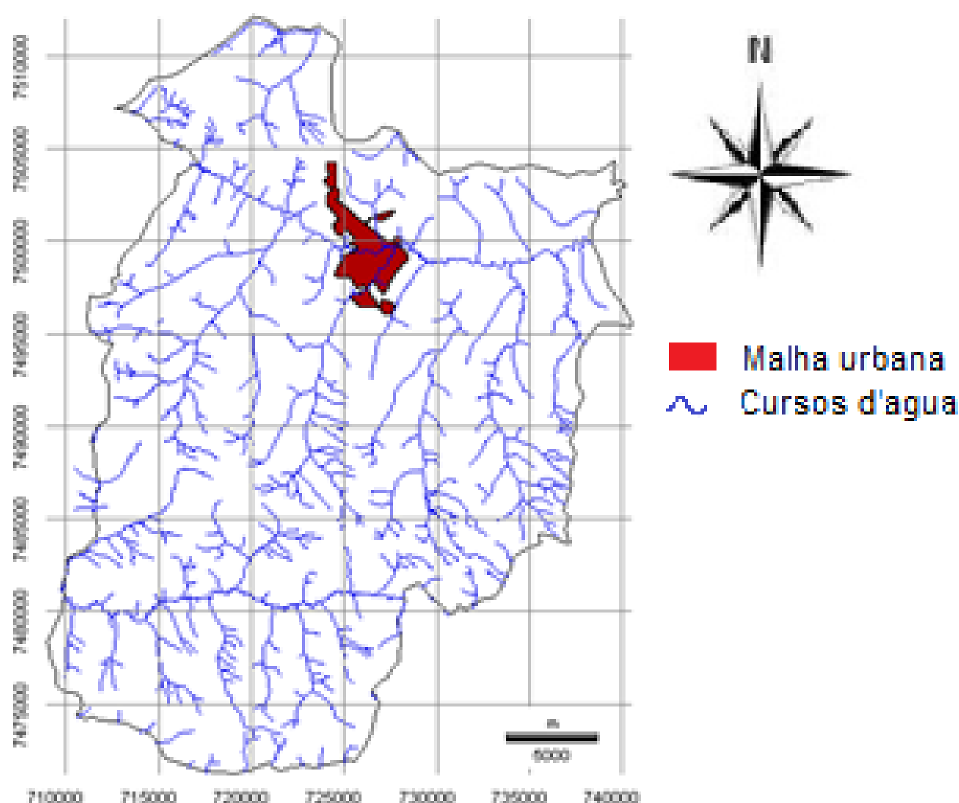
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município de Lençóis Paulista apresenta considerável rede de drenagem presente na extensão territorial do município, sendo o principal rio para o abastecimento urbano, o Rio Lençóis, que corta a área urbana (Figura 2).

O município de Lençóis Paulista está localizado na macroregião de São Paulo e na microregião de Bauru, emancipado no dia 28/04/1858. A população lençoense estimada era de 65.026 habitantes e a densidade demográfica era de 75,88 hab/km² (IBGE, 2014). O IDH do município em 2010 foi de 0,764.

Na produção agrícola é necessário considerar a rede de drenagem como fator importante para irrigação do solo. O homem vem interferindo no meio ambiente com produção de alimentos cada vez mais agressiva (Dainese, 2001). Porém, o homem depende cada vez mais do convívio harmonioso com a produção e os recursos naturais e as atividades econômicas do município estão ligadas a produção agrícola que dependem da água e do solo.

Figura 2: Rede de drenagem no Município de Lençóis Paulista, SP



Fonte: Os autores

O levantamento do uso da terra em uma região abrange características fundamentais para a compreensão dos padrões de organização do espaço (Delmanto Júnior, 2003), pois a utilização indiscriminada sem manejo e planejamento e sem considerar características físico-químicas e condições de relevo pode torná-la improdutiva.

O mapeamento do uso e ocupação do solo do Município de Lençóis Paulista permitiu considerar os seguintes atributos: solo exposto, cultura agrícola, reflorestamento, mata ciliar, água, pastagem, área urbana, e mata.

A análise do uso da terra (Figuras 3 e 4) mostra que as culturas agrícolas foram as coberturas vegetais que ocuparam a maior parte da área, representando mais de 50% (52,72%), ou seja, cobrem 42385,49ha, mostrando com isso a predominância da agricultura regional por cana-de-açúcar que vem aumentando ao longo dos anos nas regiões paulista (Campos, 1993).

Entre 2009 e 2014, surgiram alguns novos loteamentos urbanos no município de Lençóis Paulista, ampliando assim a extensão da área urbana de 1732,73 ha em 2009 para 2187,89 ha em 2014 (Tabela 1).

O espaço rural lençoense é organizado essencialmente pelo cultivo de cana de açúcar e reflorestamento. Analisando o uso e ocupação do solo no período, observa-se que o principal uso é de cultura agrícola, seguido pelo reflorestamento em 2009 com 21,68% e em 2014 com 20,24%.

As áreas ocupadas por mata ciliar, em 2009 ocupavam cerca de 10,93% e em 2014, 11,97%. Isto deve ter ocorrido em virtude da regeneração de algumas áreas.

Essas informações, do uso do solo, tem se revelado uma importante ferramenta para a caracterização dos elementos da paisagem e mapeamentos de recursos naturais, bem como as áreas que representam os sistemas de produção agrícolas. Segundo, Galatti Filho (2006), estes elementos da paisagem sofrem interferência humana constante.

As culturas agrícolas produzidas em Lençóis Paulista são: laranja, café, uva, feijão, hortaliças, mas principalmente cana de açúcar. Já as áreas de reflorestamento correspondem aos cultivos das espécies eucalipto e pinus. Esse padrão agrícola no uso do solo do município visa atender às necessidades econômicas lençoenses, uma vez que, a madeira de reflorestamento é a principal

matéria- prima de uma indústria de fabricação de celulose e papel e a cana de açúcar corresponde como principal matéria- prima da usina de açúcar e álcool. No município de Lençóis Paulista, as duas maiores empresas geradoras de emprego são Lwarcel- Celulose e Papel e Usina Barra Grande (Açúcar e Álcool).

O uso do solo por água, compreende represas, lagos e outras redes de drenagem que não são preservadas por mata ciliar. Em 2009, o uso do solo com 11,34ha (0,02% do território lençoense) e, em 2014 com 60,66ha (0,07%). Essa diferença ocorreu provavelmente porque na análise de 2009 foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 do Landsat7 e em 2014, foram as bandas 4, 5 e 6 do Landsat 8 que oferecem melhor resolução para análise da água.

O homem associou os fatores do mau uso do solo (empobrecimento do solo, assoreamento de rios, desertificação) com a piora da qualidade do recurso hídrico (Dainese, 2001). Assim, o mapeamento do uso auxilia no planejamento de práticas conservacionistas, que visam proteger o solo e sua capacidade produtiva.

Estes usos, associados ao uso inadequado, com a falta de planejamento do solo, faz com que as áreas que deveriam ter mata nativa, no caso de Lençóis Paulista, cerrado, mata atlântica e mata ciliar, apresentem outros usos de solo, como pastagem, cultura agrícola, solo exposto, ocasionando assim, conflitos de uso do solo.

Com isso, observa-se um comportamento do uso do solo diferente entre 2009 e 2014. Em 2009, as áreas cobertas por mata nativa representavam 0,35% (276,12ha) e em 2014, as áreas de mata nativa correspondiam 1,01% do território lençoense (812,25 ha). O mesmo fato ocorreu em relação a área ocupada por mata ciliar que em 2009 representavam 10,93% e 11,97% em 2014 (Tabela 1).

A ocorrência de erosão nas áreas agrícolas e nas cabeceiras de nascentes, muitas vezes é resultado de práticas de uso e manejo inadequado do solo (LESSA, 2006), sendo uma preocupação das políticas públicas, danos ao meio ambiente e problemas de enchentes urbanas durante a estação chuvosa, de empresas privadas e da Prefeitura Municipal em promover esse aumento. O objetivo das discussões é sensibilizar os produtores rurais e os munícipes, para revitalizar as margens de rios com plantios de espécies nativas dos biomas locais, tanto na área urbana com na zona rural, pois o manejo e a conservação do solo (Castro, 2008), são importantes

para garantir o desenvolvimento sustentável, que tem por objetivo a interação dos aspectos sociais, ecológicos e econômicos.

Os dados obtidos permitiram analisar a respeito da preservação ambiental do Município de Lençóis Paulista que a mesma não está ambientalmente conservada, pois são de grande importância em termos de preservação ambiental e representaram apenas 12,99% da área. Estas são formadas por matas ciliares, zonas de cerrado e de florestas propriamente ditas. De acordo com o Código Florestal, a reserva mínima de florestas deve ser de 20% com cobertura arbórea da área de cada propriedade. Este é um parâmetro muito importante, pois segundo Rocha (1991), as florestas são essenciais para o controle de erosão e de enchentes, uma vez que são fundamentais na recarga do lençol freático quando situadas em locais adequados.

Os reflorestamentos (pinus, eucalipto, etc.), outra cobertura florestal muito significativa no município de Botucatu, apresentam grande importância econômica, fornecendo matéria-prima para as indústrias de beneficiamento de madeiras e de produtos derivados, como chapas de fibra, aglomerados e compensados. Esse uso da terra e atividades derivadas vêm gerando empregos e contribuindo para o desenvolvimento econômico e social dos municípios da região.

A análise dos dados mostra que 21,68% (2009) da área era utilizada por reflorestamento (17428,34ha). Em 2014, essa área foi reduzida para 16274,37ha (20,24%), ou seja, o reflorestamento reduziu 1,44% no período com tendência de redução dessa cobertura florestal, como forma de proteção racional e integrada da área (Campos, 1997), embora exista na região grandes companhias reflorestadoras que se instalaram em busca de terras menos valorizadas e com potencialidades para essências florestais (Barros, 1988).

Para Coelho (1968), a silvicultura de eucalipto atende as necessidades econômicas e, ao mesmo tempo, constitui-se numa forma de proteção contra o processo erosivo do solo e lixiviação de nutrientes, uma vez não estar exposto diretamente à ação das chuvas. Essa cobertura vegetal, tem grande influência nos processos de escoamento, atuando no mecanismo hidrológico, retardando e desviando o escoamento superficial e consequentemente a erosão (Vieira, 1978).

Portanto, as transformações na cobertura vegetal ocorreram dinamicamente na microbacia, ao longo do tempo com a região sofrendo sensíveis mudanças nas paisagens, caracterizadas pela expansão agrícola que vem ocorrendo através das áreas com uso por reflorestamento.

Na região de Lençóis Paulista, as áreas de vegetação natural com clima e topografia favoráveis apresentam apenas vestígios da cobertura vegetal original, ao passo que os cerrados vêm diminuindo progressivamente pela utilização de suas áreas, principalmente com culturas de alto retorno econômico, como é o caso da cultura da cana-de-açúcar.

Os desmatamentos agridem o solo, deixando-o descoberto e sob a ação das chuvas, aparecendo em consequência às erosões e a lixiviação dos elementos nutritivos essenciais para sobrevivência das plantas. Desta forma, o uso da terra deve ser realizado de forma racional, adequado e não agressivo ao meio ambiente.

4. CONCLUSÃO

As imagens de satélite e a utilização dos sistemas de informação geográfica foram ferramentas importantíssimas no processo, em função da facilidade e rapidez para o mapeamento das unidades de paisagem, permitindo a elaboração de mapas digitais e fornecendo resultados confiáveis num pequeno intervalo de tempo.

O alto índice de ocupação do solo por cultura agrícola (52,72%) reflete a predominância da agricultura regional. As áreas de floresta e mata ciliar com 12,99% mostraram que o uso do solo é inadequado, pois essas áreas estão ocupadas principalmente por cultura agrícola e reflorestamento, não respeitando a função das mesma, que é preservar as redes de drenagem e o ecossistema existente.

Os usos por solo exposto, reflorestamento e culturas agrícolas sofreram uma pequena redução de 3,07%, enquanto que por mata, mata ciliar, água, pastagem e área urbana aumentaram 3,07%. É importante salientar que as matas ciliares e as florestas tiveram um incremento no período devido a regeneração dessas áreas.

REFERÊNCIAS

BARROS, Z.X. de. **Caracterização de bacias hidrográficas no mapeamento de solos mediante o uso de análise multivariada.** Botucatu: UNESP, 1988. 113p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 1988.

CAMPOS, S.**Fotointerpretação da ocupação do solo e suas influências sobre a rede de drenagem da bacia do rio Capivara - Botucatu (SP), no período de 1962 a 1977**.Botucatu: UNESP, 1993. 164p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1993.

CASTRO, L. I. S. **Diagnóstico ambiental na sub- bacia do Ribeirão de Pouso Alegre com a utilização de um Sistema de Informação Geográfica**. 2008. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

COELHO, A.G. de. **Fotointerpretação da eucaliptocultura e estudo do planejamento agrícola.Bol.Inst.Agron**.,Campinas, n.187, p.1-60, 1968.

CRÓSTA, A.P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: UNICAMP, 1992. 170p.

DAINESE, R. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado no estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual**. 2001. 186 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

DELMANTO JUNIOR, O. **Determinação da capacidade de uso da terra do município de São Manoel (SP), obtido por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG)- Idrisi.** 2003. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for windows –** Manual do Usuário: Introdução e Exercícios Tutoriais. Editores da versão em português, Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre, UFRGS Centro de Recursos do Idrisi, 1998. 240 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, SPI, 1999. 404p.

FREITAS FILHO, M.R.; MEDEIROS, J.S. Análise multitemporal da cobertura vegetal em parte da Chapada do Araripe- CE, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, São José dos Campos, 1993. Anais... São José dos Campos, INPE, 1993. p.73-80.

GALATTI FILHO, F. A. **Geoprocessamento aplicado na distribuição espacial da capacidade do uso na microbacia do Córrego das Rochas, Avaré (SP)**. 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. **Secretaria de Economia e Planejamento**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. *Município de Botucatu. Folhas: Agudos, SF-22-*

Z-B-V-4; Rio Palmital, SF-22-Z-B-V-3; Pratânias, SF-22-Z-B-V-4; São Manuel, SF-22-Z-B-V-3 e Lençóis Paulista, SF-22-Z-B-V-2. São Paulo, Escala 1:50.000, 1973.

LESSA, L. G. F. **Monitoramento das perdas de solo da sub-bacia Ribeirão das Bicas-Botucatu/SP, utilizando fotogametria digital**. 2006. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

PEREIRA, M. N.; KURKDJIAN,M. L. N. O DE; FORESTI, C. **Cobertura e uso da terra através de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989. 118p.

POLITANO, W.; CORSINI, P.C.,VASQUES, J.G. Ocupação do solo no município de Jaboticabal - SP. ***Científica*, ** São Paulo - SP, v.8,n.1/2, p.27-34,1980.
ROCHA, J.S.M. da. **Manual de interpretação de aerofotogramas**, Fascículo XI, Santa Maria, 1986, 58p.

ROCHA, J.S. M. da., **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. ed. UFSM, Santa Maria, RS. 1991. 181p.

SANTOS, M.L.M., MATTOS, M.M., PIRES, I.O., BROWN, I.F., ASSIS, W.S. Utilização de imagens de satélite no mapeamento preliminar do uso da terra e na capacitação de agricultores do médio Rio Capim- Paragominas-PA. Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993,São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 1993. 15p.

VIEIRA, N.M. **Estudo geomorfológico das voçorocas de Franca, SP**. Franca: UNESP, 1978. 255p. Tese (Doutorado em História) - Instituto de História e Serviço Social, Universidade Estadual Paulista, 1977.

CAPÍTULO 05

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA LONTRA – CAFELÂNDIA, SP

Maria Beatriz Sartor Orlando
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: mariabeatrizsartor@gmail.com

Mariana Wagner de Toledo Piza
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: marywagner.adm@gmail.com

Gabriel Rondina Pupo da Silveira
Faculdade de Ciências e Engenharias – UNESP – Tupã, SP.
E-mail:gabrielrondina@hotmail.br

Edéria Pereira Gomes
Prefeitura Municipal de Lençóis Paulista – SP
E-mail: ederia@ipnet.com.br

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo a avaliação morfométrica da bacia do córrego da Lontra, localizado no município de Cafelândia (SP), tendo em vista a proteção e manutenção ambiental utilizando-se ferramentas de geoprocessamento. As ferramentas empregadas foram o Sistema de Informação Geográfica - SIG IDRISI Selva e *software* CartaLinx. A bacia apresenta uma área de 18,30 km^2 e está localizada entre os paralelos 21º 45’ a 22º 00’ de latitude S e 49º 30’ a 49º 45’ de longitude W Gr. Para a caracterização da morfometria da bacia utilizou-se a carta planialtimétrica de Cafelândia, editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, de 1973, em escala 1:50000 e o SIG IDRISI Selva para o georreferenciamento, vetorização do limite da bacia, extração da rede de drenagem, das curvas de nível e nascentes, bem como para quantificação dos parâmetros morfométricos, análise e avaliação dos dados. Os resultados demonstram que a bacia possui uma baixa Densidade de Drenagem (Dd), ou seja, presença de rochas permeáveis que permitem a infiltração da água no solo diminuindo, assim, o escoamento superficial e o risco de erosão, com uma declividade média (H) representando um plano a ondulado. O Índice de Forma (IF), aliado ao Índice de Circularidade (Ic), indica que a bacia apresenta uma forma ovalada, com baixa tendência à enchentes. O parâmetro Coeficiente de Rugosidade (RN) permitiu demonstrar a tendência da bacia para pastagem.

Palavras-chave: morfometria, hidrografia, georreferenciamento.

Abstract: The present work had as objective the morphometric evaluation of the stream basin of Lontra, located in the city of Cafelandia (SP), with a view to environmental protection and maintenance using geoprocessing tools. The tools used were the Geographic Information System - GIS IDRISI Selva and CartaLinx software. The basin presents an area of 18,30 km^2 and is located between the parallels 21º 45' to 22º 00' of latitude S and 49º 30 ' to 49º 45' of longitude W Gr. For the characterization of the morphometry of the basin was used Planialtimétrica de Cafelândia, edited by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), 1973, in a scale of 1: 50000 and the SIG IDRISI Selva for the georeferencing, vectorization of the basin boundary, extraction of the drainage network, contour lines and springs, as well as for quantification of morphometric parameters, data analysis and evaluation. The results show that the basin has a low Drainage Density (Dd), that is, the presence of permeable rocks that allow the infiltration of water into the soil, thus reducing runoff and erosion risk, with a mean slope (H) representing a plane to corrugated. The shape index (IF), together with the Circularity Index (Ic), indicates that the basin presents an oval shape, with a low tendency to flood. The parameter Roughness Ratio (RN) allowed to demonstrate the tendency of the pasture basin.

Keywords: morphometry, hydrography, georeferencing.

1. INTRODUÇÃO

Entende-se por bacia hidrográfica um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, constituída nas porções mais altas do relevo por divisores de água, nos quais a água das chuvas escoa na superfície formando os riachos e rios ou infiltra no solo dando origem às nascentes e formação do lençol freático (BARRELLA et al., 2001). No Brasil, bacia hidrográfica é a unidade física adotada pela legislação para designar o gerenciamento dos recursos hídricos e implementar um plano de gestão dos mesmos (BRASIL, 1997). Esta denominação é também utilizada em outros países (GARCIA, 2011).

Em relação a análise de bacias hidrográficas, diversos são os parâmetros a serem analisados, destacando-se os morfométricos. Segundo Siqueira et al. (2012) o objetivo da morfometria é estabelecer relações entre as propriedades mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os seus condicionantes, utilizando-se de índices numéricos que categorizam a rede de drenagem. Tais índices são importantes fundamentalmente na identificação das potencialidades da bacia e determinação de seu uso, permitindo um manejo adequado baseado no diagnóstico e análise de risco e degradação dos recursos naturais. Os índices permitem, também, uma avaliação da suscetibilidade à erosão da área de uso da bacia e do comportamento da mesma.

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica é um mecanismo essencial na investigação da degradação ambiental, delimitação da zona ripária, programação e manejo de bacias, pois permite descrever a formação geomorfológica da paisagem em sua oscilação topográfica, possuindo um papel expressivo no condicionamento de respostas ligadas à erosão hídrica após eventos pluviométricos relevantes (ARRAES et al., 2010).

As propriedades físicas da bacia permitem analisar atividades tais como o ciclo hidrológico, a evapotranspiração e o escoamento superficial e subsuperficial. Assim, com o auxílio do geoprocessamento é possível desenvolver trabalhos detalhados em relação às características morfométricas de bacias hidrográficas. Entende-se por geoprocessamento um termo que engloba diversas tecnologias para coleta de dados e tratamento de referências geográficas através de *softwares* computacionais. Dentre essas tecnologias destacam-se o sensoriamento remoto, a

digitalização de informações, a automação de tarefas cartográficas, o uso de Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (PINA; SANTOS, 2000).

O uso do SIG é essencial no estudo de bacias hidrográficas, pois promove melhores condições de análise morfométrica, sendo uma importante ferramenta de avaliação e determinação da evolução espacial, temporal e geográfica de uma determinada área. Segundo Teixeira et al. (1992) o Sistema de Informação Geográfica utiliza-se de uma base de dados computadorizada que compreende informações espaciais – relevo, solo, clima, vegetação, hidrologia, entre outros aspectos do meio natural – que possibilitam um gerenciamento de conteúdo com maior precisão geográfica, além de aspectos sociais, econômicos e políticos, que permitem uma divisão temática em subsistemas que integram um SIG, sendo esses os atributos sobre os quais atuam uma variedade de operadores espaciais (conjunto de operações algébricas, booleanas e geométricas, utilizadas no cruzamento de dados).

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a morfometria da bacia hidrografia do córrego da Lontra, localizado no município de Cafelândia (SP) por meio da utilização do SIG IDRISI Selva e do *software* CartaLinx, relacionando características físicas da microbacia com tendências de conservação ambiental.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do córrego da Lontra localiza-se na porção sul do município de Cafelândia (SP), entre as coordenadas geográficas 21º 45’ e 22º 00’ de latitude S e 49º 30’ e 49º 45’ de longitude W Gr. e possui uma área total de 18,30 km^2. Está a uma altitude de 467 metros e, segundo a classificação climática de Koeppen para o estado de São Paulo - que se baseia em dados mensais pluviométricos e termométricos, o estado abrange sete tipos climáticos diferentes, sendo que a maioria corresponde a clima úmido e quente - pertence ao clima do tipo AW, ou seja, “tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior

a 18ºC. O mês mais seco tem precipitação inferior a 60mm e com período chuvoso que se atrasa para o outono" (CEPAGRI, 2016).

2.2 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Na caracterização física da bacia do córrego do Lontra foi utilizada a carta do IBGE de 1973, em escala 1:50000, folha Cafelândia (SF-22-X-C-VI-4), com curvas de nível de 20 em 20 metros, para extração da rede de drenagem e da planialtimetria. O SIG IDRISI Selva foi usado para a vetorização das curvas de nível, do divisor de águas, da rede de drenagem e das nascentes, bem como o georreferenciamento e a realização das análises morfométricas e obtenção dos dados necessários como comprimento da rede de drenagem (Cr), comprimento do curso principal (CP), do perímetro (P) e da área (A) da bacia.

2.3 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Para a caracterização e composição da rede de drenagem foram analisados os seguintes parâmetros: densidade de drenagem (Dd), declividade média (H), coeficiente de rugosidade (RN), índice de circularidade (Ic), índice de forma (IF), coeficiente de compacidade (Kc), extensão de percurso superficial (EPS), gradiente de canais (GC), índice de sinuosidade (IS), razão de relevo (Rr), frequência de rios (Fr) e coeficiente de manutenção (Cm).

2.3.1 DENSIDADE DE DRENAGEM (Dd)

A densidade de drenagem caracteriza, através da correlação entre o comprimento total da rede de drenagem (Cr) e a área da bacia, o padrão de drenagem da mesma. É um parâmetro físico considerado fundamental por muitos autores e representado pela expressão abaixo, conforme proposto por França (1968), na Equação 1:

$$Dd = Cr \cdot A^{-1} \quad (1)$$

Onde:

Dd - Densidade de drenagem (km/km^2)

Cr - Comprimento da rede de drenagem (km)

A - Área da bacia hidrográfica (km^2)

A densidade de drenagem (FRANÇA, 1968) é classificada por em três classes de valores (Tabela 1).

Tabela 1: Intervalo de valores para classificação da densidade de drenagem (FRANÇA, 1968)

Densidade de drenagem (Dd) km/km^2	**Classificação**
< 1,5	Baixa
1,5 a 2,5	Média
> 2,5	Alta

Fonte: Os autores

Uma bacia hidrográfica com baixo valor de densidade de drenagem pode indicar a existência de rochas resistentes, solos permeáveis, cobertura vegetal densa e/ou relevo suave. Em contrapartida, um alto valor de densidade de drenagem pode sugerir a presença de rochas pouco resistentes, solos impermeáveis, pequena cobertura vegetal e/ou relevo acidentado. Esse parâmetro é importante, pois define a representação topográfica da bacia (SILVEIRA, 2016).

2.3.2 DECLIVIDADE MÉDIA (H)

A declividade média do terreno da bacia hidrográfica é um parâmetro físico utilizado no estudo dos picos de enchentes e da infiltração de água no solo de forma que, com este índice, é possível determinar o escoamento da água das chuvas e verificar a suscetibilidade à erosão, sendo que quanto maior a declividade, maior o escoamento superficial e, consequentemente, o risco de erosão (ROCHA; SILVA, 2001). A declividade média foi encontrada a partir da Equação 2 (LEPSCH et al., 1991).

$$H = (D \cdot Cn) \cdot 100 / A \qquad (2)$$

Onde:

H - Declividade média da bacia (%)

D - Equidistância vertical das curvas de nível da bacia hidrográfica (km)

Cn - Comprimento total das curvas de nível da bacia hidrográfica (km)

A - Área da bacia hidrográfica (km^2)

Chiarini e Donzelli (1973), em estudo sobre as classes de capacidade de uso das terras do Estado de São Paulo utilizando-se de fotointerpretação, definiram as classes de declive, considerando os tipos de relevo, da forma como consta na Tabela 2.

Tabela 2: Classes de declive segundo o relevo

Classes de declive (%)	**Relevo**
0 a 12	Plano ondulado
12 a 20	Forte ondulado
20 a 40	Acidentado
> 40	Montanhoso

Fonte: CHIARINI E DONZELLI (1973)

2.3.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (RN)

O coeficiente de rugosidade é um indicador que direciona quanto ao uso potencial para as terras rurais. Segundo Rocha (2001) pode-se dividir a bacia hidrográfica em quatro classes de uso da terra:

A = Solos apropriados para agricultura (menor valor de RN);

B = Solos apropriados para pastagens (pecuária);

C = Solos apropriados para pastagens/reflorestamentos;

D = Solos apropriados para reflorestamentos (maior valor de RN).

As classes “A”, “B”, “C” e “D” foram obtidas através do cálculo da amplitude - diferença entre o maior e o menor valor de RN encontrado para as bacias hidrográficas e o intervalo de domínio, que é a relação entre a amplitude dividida por quatro. Ainda de acordo com Rocha (2001), o coeficiente de rugosidade é dado pela Equação 3.

$$RN = Dd \cdot H \qquad (3)$$

Onde:

RN - Coeficiente de rugosidade (adimensional)

Dd - Densidade de drenagem (km/km2)

H - Declividade média da bacia (%)

Baseados na análise de 35 microbacias pertencentes à bacia do rio Araguari – MG, Deamo et al. (2009) subdividiram os coeficientes de rugosidade de forma a facilitar a interpretação dos padrões quanto ao RN e ao melhor uso e ocupação do solo da bacia (Tabela 3). Pode-se observar que quanto maior o valor do coeficiente de rugosidade, maior será a probabilidade de ocorrer erosão.

Tabela 3: Bacias e respectivos Coeficientes de Rugosidade (DEAMO et al. 2009)

Valor do RN	**Classe RN**	**Coeficiente de Rugosidade (RN)**
1,09 até 10,63	A	Agricultura
10,64 até 20,18	B	Pastagem
20,19 até 29,73	C	Pastagem/Florestamento
29,74 até 39,28	D	Florestamento

Fonte: Os autores

2.3.4 ÍNDICE DE CIRCULARIDADE (Ic)

O índice de circularidade é determinado conforme a Equação 4 (CHRISTOFOLETTI, 1980). Segundo o autor, a área do círculo tem um perímetro "C" igual ao perímetro "P" da bacia podendo ser obtido a partir da expressão conforme Equação 5.

$$Ic = A / Ac \qquad (4)$$

Onde:

Ic - Índice de circularidade (adimensional)

A - Área da bacia hidrográfica (ha ou km^2)

Ac - Área do círculo de perímetro igual ao da bacia hidrográfica considerada (ha ou km^2)

$$Ic = 4\pi (A / P^2) \qquad (5)$$

Onde:

Ic - Índice de circularidade (adimensional)

A - Área da bacia hidrográfica (ha ou km^2)

P - Perímetro da bacia hidrográfica (km)

O risco de enchentes será maior quanto maior for o índice de circularidade, isso se deve ao fato de que, quanto maior for a concentração de água do tributário principal, maior a necessidade de proteção por cobertura vegetal da bacia hidrográfica, bem como a adoção de técnicas de conservação do solo. Quanto maior forem os índices de forma e de circularidade da bacia hidrográfica, mais arredondado será o seu formato, existindo uma associação direta com a declividade da mesma, causando um escoamento superficial de água mais rápido e eficiente, podendo levar a erosões laminares, alagamentos de rios e enchentes, ocorridas pela alta velocidade adquirida pela água. Com o aumento da vazão e a incapacidade do rio de suportá-la, ocorrem as cheias, conforme podemos observar na Tabela 4 (SILVEIRA, 2016).

Tabela 4: Intervalo de valores para interpretação dos resultados quanto aos índices de forma (If) e de circularidade (Ic) (VILLELA; MATTOS; 1975)

If	Ic	Formato da bacia	Tendência à enchente
< 0,75	1,00 – 0,80	Circular	Alta
0,75 – 50	0,80 – 0,60	Ovalada	Mediana
0,50 – 30	0,60 – 0,40	Oblonga	Baixa
< 0,30	< 0,40	Comprida	Tendência à conservação

Fonte: Os autores

2.3.5 ÍNDICE DE FORMA (If)

O índice de forma da bacia relaciona a forma da mesma com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (comprimento longínquo do canal principal) e podendo ser calculada pela expressão conforme Equação 6 (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$If = A / L^2 \quad (6)$$

Onde:

If - Índice de forma (adimensional)

A - Área da bacia hidrográfica (ha ou km^2)

L - Comprimento do eixo da bacia (km)

Conforme Silveira (2016), a bacia será mais circular quanto maior for o valor do índice de forma, sendo que, aquelas com formato retangular ou triangular são menos vulneráveis à enchentes do que as circulares, ovais e quadradas, que apresentam maiores chances de que chuvas intensas ocorram concomitantemente em toda sua extensão, levando a uma grande concentração no volume de água do tributário principal.

2.3.6 COEFICIENTE DE COMPACIDADE (Kc)

O coeficiente de compacidade, também conhecido como índice de Gravelius é dado pela razão entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo equivalente à área da bacia, conforme demonstra a Equação 7.

$$Kc = 0,28\ (P : A^{1/2}) \qquad (7)$$

Onde:

Kc - Coeficiente de compacidade (adimensional)

P - Perímetro da bacia (km)

A - Área da bacia (km^2)

O coeficiente de compacidade é um índice adimensional que varia com a forma da bacia independentemente do seu tamanho. Conforme pode ser observado na Tabela 5, quanto mais irregular for a bacia hidrográfica, maior será o seu Kc, o que determina que um coeficiente mínimo igual à unidade seria equivalente a uma bacia circular e, se os outros fatores forem iguais, a tendência à enchentes é maior quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente.

Tabela 5: Intervalo de valores para interpretação dos resultados do Coeficiente de compacidade (VILLELA; MATTOS; 1975)

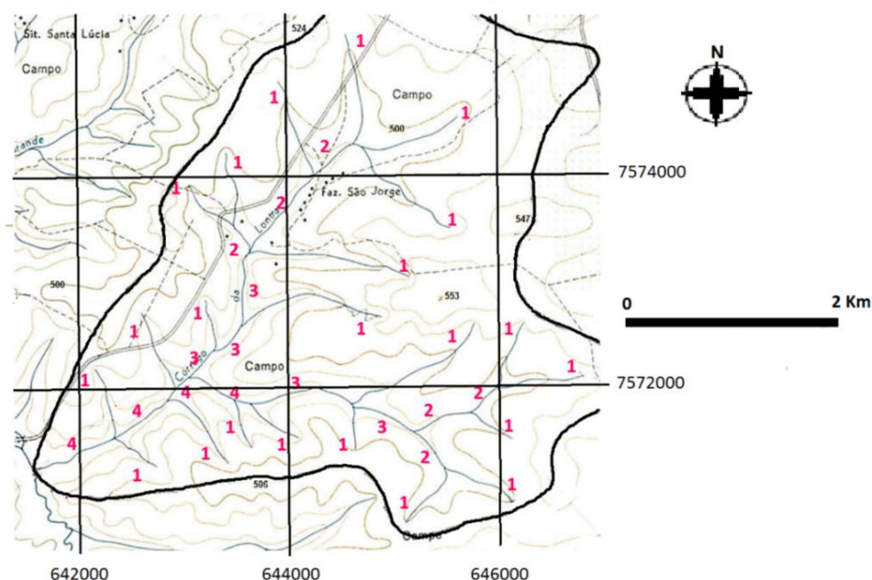
Coeficiente de compacidade (Kc)	Formato da bacia hidrográfica
1,00 – 1,25	Redonda para ovalada
1,25 – 1,50	Ovalada
1,50 – 1,70	Oblonga

Fonte: Os autores

2.3.7 SISTEMA DE DRENAGEM

Os rios são hierarquizados com início naqueles de primeira ordem – rios que não recebem afluentes – seguidos daqueles de segunda ordem – quando no mínimo dois rios de primeira ordem sejam confluentes e assim por diante (STRAHLER; 1957). Os cursos primários recebem o número 1; a união de dois rios de mesma ordem origina um curso de ordem superior e, a união de dois rios de ordens diferentes faz com que prevaleça a ordem do maior (Figura 1).

Figura 1: Sistema de drenagem a partir da ordem dos cursos d'água na bacia hidrográfica do córrego Lontra



Fonte: Os autores

2.3.8 EXTENSÃO DE PERCURSO SUPERFICIAL (EPS)

A extensão do percurso superficial (Equação 10) representa a distância média percorrida pelas águas pluviais (HORTON; 1945) e pode ser obtida pela Equação 8.

$$EPS = (1/2 \cdot Dd) \cdot 1000 \quad (8)$$

Onde:

EPS - Extensão de percurso superficial (m)

Dd - Densidade de drenagem (km/km^2)

2.3.9 GRADIENTE DE CANAIS (GC)

O gradiente de canais indica a declividade dos cursos d'água (FREITAS; 1952) e pode ser obtido pela Equação 9.

$$GC = H\ máx / L \quad (9)$$

Onde:

GC - Gradiente de canais (%)

H máx - Altitude máxima (km)

L - Comprimento do canal principal (km)

2.3.10 ÍNDICE DE SINUOSIDADE (IS)

O índice de sinuosidade indica os formatos dos canais, considerando o comprimento do canal principal e dividindo-o pelo comprimento vetorial desse mesmo canal (FREITAS; 1952). Para valores menores que 1 os canais são considerados retilíneos e para valores maiores que 2, os canais são classificados como sinuosos.

$$IS = L / LV \quad (10)$$

Onde:

IS - Índice de sinuosidade (adimensional)

L - Comprimento do canal principal (km)

LV - Comprimento vetorial do canal (km)

2.3.11 RAZÃO DE RELEVO (Rr)

Schumm (1956) classificou a razão de relevo como sendo a relação entre a diferença de altitude dos pontos extremos da bacia e seu comprimento (Equação 11). A razão de relevo indica que quanto maior o seu valor, mais acidentado o relevo da área da bacia hidrográfica, ou seja, quanto maior for a razão de relevo, maior será a declividade geral da bacia e, consequentemente, maior será a velocidade da água a escoar no sentido do seu maior comprimento (CARVALHO, 1981). Piedade (1980) utilizou os seguintes valores para determinar a razão de relevo: Razão de relevo baixa - 0,00 a 0,10; Razão de relevo média - 0,11 a 0,30 e Razão de relevo alta - 0,31 a 0,60.

$$Rr = Hm / L \qquad (11)$$

Onde:

Rr - Razão de relevo (km/km)

Hm - Amplitude altimétrica máxima (km)

L - Comprimento do canal principal (km)

2.3.12 FREQUÊNCIA DE RIOS (Fr)

Para Horton (1945), a frequência de rios pode ser obtida a partir da relação entre o número total de segmentos de rios e a área da bacia, conforme Equação 12. De acordo com Freitas (1952), a frequência de rios, também chamada de densidade hidrográfica, é um parâmetro que indica a extensão da rede hidrográfica, bem como a capacidade da bacia em gerar novos cursos d´água conforme características pedológicas, geológicas e climáticas do local.

$$Fr = Nt / A \qquad (12)$$

Onde:

Fr - Frequência de rios (adimensional)

Nt - Número total de segmentos de rios (quantidade)

A - Área da bacia (km^2)

2.3.13 COEFICIENTE DE MANUTENÇÃO (Cm)

Segundo Silveira (2016), o coeficiente de manutenção é o parâmetro que demonstra o mínimo de área necessária para a manutenção dos canais presentes na bacia, sendo calculado a partir da Equação 13.

$$Cm = (1 / Dd) . 1000 \quad (13)$$

Onde:

Cm - Coeficiente de manutenção (km/km^2)

Dd - Densidade de drenagem (km/km^2)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme avaliação realizada, os resultados obtidos para a bacia do córrego da Lontra (SP), com área de 18,3 km^2, perímetro de 20,19 km e canal principal com 5,7 km são apresentados na Tabela 6. O comprimento total da rede de drenagem de 26,32 km demonstra que a bacia constitui-se por diversos canais de drenagem.

O formato da bacia é caracterizado fisicamente por indicadores relativos à formas geométricas, por exemplo, o fator de forma cuja relação se dá com um retângulo e o coeficiente de compacidade, que faz relação com a figura geométrica do círculo (RODRIGUES et al., 2011). Estes dois fatores são parâmetros importantes na indicação do tempo necessário para que a bacia hidrográfica contribua na saída da água após uma chuva, pois quanto menor é o tempo de concentração maior será a vazão máxima de enchentes (OLIVEIRA et al., 2016). O baixo valor do índice de forma (0,5) sugere uma bacia menos circular e mais alongada, se assemelhando a um triângulo, sendo assim, de acordo com Silveira (2016), indica uma bacia menos vulnerável à enchentes, pois têm menores chances de que ocorram precipitações intensas concomitantes ao longo de toda sua extensão. Juntamente do coeficiente de compacidade (1,32) – que indica uma forma mais ovalada, e do índice de circularidade (0,56) que aponta para uma bacia com formato oblongo.

Tabela 6: Características morfométricas da microbacia do córrego da Lontra, Cafelândia-SP

Características físicas	Unidades	Resultados
	Parâmetros dimensionais da bacia	
Área (A)	km^2	18,30
Perímetro (P)	km	20,19
Comprimento do canal principal (L)	km	5,7
Comprimento da rede de drenagem Cr	km	26,32
Comprimento das curvas de nível (Cn)	km	89,80
Comprimento axial (LV)	Km	5,2
Equidistância vertical das curvas de nível (D)	Km	0,02
Comprimento do eixo da bacia (L)	Km	6
	Características do relevo	
Coeficiente de compacidade (Kc)	**--------**	1,32
Índice de forma (If)	**--------**	0,5
Índice de circularidade (Ic)	**--------**	0,56
Declividade média da bacia (H)	%	9,8
Amplitude altimétrica máxima (Hm)	M	115
Altitude máxima (H máx)	M	555
Menor altitude (mA)	M	440
Coeficiente de rugosidade (RN)	**--------**	14,11
Razão de relevo (Rr)	km/km	0,02
	Padrões de drenagem a bacia	
Ordem da bacia (W)	**--------**	4ª
Densidade de drenagem (Dd)	km/km^2	1,44
Coeficiente de manutenção (Cm)	km/km^2	694,45
Extensão do percurso superficial EPS)	M	720
Gradiente de canais (Gc)	%	9,82
Índice de sinuosidade (Is)	-------	1,1
Frequência de rios (Fr)	--------	1,14

Fonte: Os autores

Valores de densidade de drenagem, frequência de rios e razão de relevo estão associados à presença de rochas permeáveis, que facilitam a infiltração da

água no solo reduzindo o volume de escoamento superficial e, consequentemente diminuindo o risco de erosão e degradação ambiental (TONELLO et al., 2006). As propriedades da rede de drenagem da bacia foram obtidas através do índice da densidade de drenagem, correspondendo a 1,44 km/km2, caracterizando uma baixa densidade de drenagem, que aponta para uma bacia pouco suscetível à erosão, com a presença de rochas permeáveis e, segundo Christofoletti (1969), situadas em regiões com precipitações de baixa intensidade ou pouca concentração de chuvas.

De acordo com Silva et al. (2009), a sinuosidade dos rios é um dos elementos que determinam a velocidade de escoamento do canal, pois demonstra o quão próximo o rio segue diretamente a linha do talvegue, ou seja, com baixo grau de sinuosidade. Para Politano (1978) o relevo apresenta relação direta com as condições de profundidade do perfil da bacia, sensibilidade à erosão, drenagem, etc. A declividade do terreno auxilia no escoamento das águas pluviais, sendo que, quanto maior o trecho em declive, menor será o escoamento pela superfície e, assim, maior será a chance de ocorrer erosão. O grau de erosão associa-se também à cobertura vegetal, ao tipo de solo e ao tipo de uso da terra de cada bacia hidrográfica.

Quanto ao coeficiente de rugosidade, adotado para diagnosticar a probabilidade de vir a ocorrer erosões, o valor calculado de 14,11 permite a classificação da bacia do córrego da Lontra com vocação para uso como pastagem (classe B), ou seja, indicada para produção pecuária. Observa-se que quanto maior o valor do coeficiente de rugosidade, maior será a probabilidade de ocorrer erosão, confirmando, mais uma vez, a baixa suscetibilidade da bacia a ocorrências de erosões.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho possibilitou uma análise mais completa sobre a bacia hidrográfica do córrego da Lontra (SP) com o objetivo de auxiliar no planejamento e manejo integrado dos recursos hídricos da área, de forma a manter e preservar o controle do seu uso e restauração ambiental.

A bacia estudada possui uma baixa densidade de drenagem, ou seja, com provável existência de rochas resistentes, solos permeáveis, cobertura vegetal densa e/ou relevo suave, com comportamento resistente à erosão.

A declividade média encontrada demonstra que a bacia possui um terreno plano a ondulado, indicando a boa capacidade da bacia em relação à infiltração de água no solo e a baixa suscetibilidade à erosão.

O coeficiente de rugosidade sugere que a bacia possua uma área propicia para atividades de pastagem (classe B – pecuária).

O índice de circularidade indica que a bacia possui um formato oblongo, revelando baixa tendência à enchentes, assim como o índice de forma. O coeficiente de compacidade também aponta para um formato ovalado da bacia.

O valor encontrado para a razão de relevo, confirma a baixa tendência à enchentes e erosão da bacia analisada, ou seja, a pequena declividade e, consequentemente, a baixa velocidade da água ao escoar no sentido do seu maior comprimento.

Conclui-se que as técnicas de geoprocessamento, a exemplo do SIG IDRISI Selva e do *software* CartaLinx, são de importância fundamental no auxílio da gestão e planejamento dos recursos hídricos à medida que complementam os estudos e avaliações ambientais.

REFERÊNCIAS

ARRAES, C. L.; PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M.; ZANATA, M.; CAMPOS, S. **Morfometria dos compartimentos hidrológicos do Município de Jaboticabal, SP.** UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2010.

BARRELLA, W.; PETRERE-JR., M.; SMITH, W. S.; MONTAG, L. F. A. **As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes**. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Org.). Matas ciliares: conservação e recuperação. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo/ Fapesp, 2001.

CARVALHO, W.A. **Relações entre relevos e solos da bacia do rio Capivara - município de Botucatu, SP**. Botucatu, (Tese de Livre-Docência) - FCA/UNESP, 1981. 193f.

CEPAGRI. Unicamp. **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura**: Clima dos municípios paulistas. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_100.html>. Acesso em: 04 nov. 2016.

CHIARINI, J.J., DONZELLI, P.L. Levantamento por fotointerpretação das classes de capacidade de uso das terras do Estado de São Paulo. **Bol.Tec.Inst.Agron.**, Campinas, n.3, p.1-29, 1973.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfologia**, Campinas, v. 9, n. 18, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

DEAMO, J.C.M.; VALLE JUNIOR, R.F. do; VIEIRA, D.M.S.; VIEIRA, T.A.; COUTO, R.G.C. **Diagnóstico Físico-Conservacionista da microbacia dos córregos Pindaíba, Marimbondo e Tenda, Uberlândia-MG.** In: II Seminário Iniciação Científica – IFTM, Uberaba, MG, 2009. Uberaba: IFTM, 2009.

FRANÇA, G. V. **Interpretação de bacias e redes de drenagem aplicados a solos da região de Piracicaba (SP)**. 1968. 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – EscolaSuperior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

FREITAS, R. O. **Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica**. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo, v. 11, p. 53-57, 1952.

GARCIA, Y. M. **Aplicação do código florestal como subsídio para o planejamento ambiental na bacia hidrográfica do Córrego do Palmitalzinho - Regente Feijó - São Paulo**. 2011. 145 f. Trabalho de conclusão (Bacharelado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

HORTON, R. E. Erosinal development of streams and their drainage basin: hydro physical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275, 1945.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI, J. R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

MOREIRA, L.; RODRIGUES, V. A. **Análise morfométrica da microbacia da Fazenda Edgárdia – Botucatu (SP).** Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal. Garça, v. 16, n. 1, p.9-21, 2010.

OLIVEIRA et al. Geoprocessamento aplicado na Avaliação Morfométrica da Microbacia do Córrego Estância Santa Rita - Botucatu, SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 31, n.2, p.178-185, abril-junho, 2016.

PIEDADE, G.C.R. Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP. Botucatu, (Tese de Livre Docência) - FCA/UNESP, 1980. 161f

PINA, M. de F. de.; SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde**. Brasília: OPAS, 2000.

POLITANO, W. **Estudos básicos de aerofotogrametria e fotointerpretação no curso de Agronomia**: apostila didática do curso de Agronomia. Jaboticabal: FCAV/ UNESP, 1978. 57 p.

ROCHA, J. S. M.; SILVA, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria: UFSM, 2001. 302 p.

RODRIGUES, D. P; NOLASCO, M. C.; JESUS, T. B. **Geoprocessamento aplicado ao estudo da análise morfométrica:** o caso da microbacia do rio Coisa Boa – Chapada Diamantina - BA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. p. 3947.

SCHUMM, S. A. **Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains**. In.: Geological Society of America Bulletin. v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1956.

SILVA, M. C.; COSTA, C. D. O.; CAPPI, N.; GENTIL, R. H. P. Morfometria da microbacia do córrego fundo no Município de Aquidauana, MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2, 2009, Corumbá. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p. 290-295.

SILVEIRA, G.R.P. **Geomática aplicada na caracterização conservacionista de uma bacia hidrográfica no unicípio de são manuel (sp).** 2016. 100f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na agricultura) – Faculdade de Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

SIQUEIRA, H. E.; TIBERY, L. R.; GUIDOLINI, J. F.; VALLE JUNIOR, R. F.; RODRIGUES, V. A. **Análise morfométrica e definição do potencial de uso do solo da microbacia do Rio Veríssimo, Veríssimo - MG.** Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 2236-2248, 2012.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informação geográfica**. Rio Claro: Ed. de Autor, 1992. 80 p.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. de; RIBEIRO, C. A. A. S. R.; LEITE, F. P. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975, p. 245.

CAPÍTULO 06

COMPARAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO ENTRE BRASIL E HONDURAS E SUA DEPENDÊNCIA DE FONTES NÃO RENOVÁVEIS

Sindy Michell Hernandez Vindel
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: michellhernandezvidel@gmail.com

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Anselmo José Spadotto
Universidade 9 de Julho – UNINOVE – SP
E-mail: spadotto@laser.com.br

Yara Manfrin Garcia
Faculdade de Ciências e Engenharias – UNESP – Botucatu, SP.
Email:yaramanfrin@hotmail.br

Resumo: As modificações na matriz energética brasileira e hondurenha com o propósito de torná-las mais eficientes e procurando contribuir com o desenvolvimento ambiental configuram o tema de interesse desta pesquisa. O trabalho objetivou realizar a comparação do consumo energético por setor da matriz energética brasileira e hondurenha e sua dependência de energia não renovável.Os países envolvidos nesta pesquisa são Brasil e Honduras ambos estão localizados na América Latina, com uma extensão territorial de 8.516.000 km^2 e 112.492 km^2 respectivamente. A metodologia empregada foi qualitativa por meio de uma pesquisa de sondagem, onde se procuraram informações referentes ao objetivo deste trabalho.Foram consultados artigos científicos em *sites* especializados, os dados estatísticos do consumo energético foram obtidos de organizações internacionais. Como resultados encontrou-se que ambos países são dependentes de energia não renovável para poder cobrir a demanda energética, mas estão indo pelo caminho correto na diversificação de sua matriz energética.

Palavras-chave: desenvolvimento sustentável, eficiência energética, energia renovável.

Abstract: The changes in the Brazilian and Honduran energy matrix in order to make them more efficient and seeking to contribute to environmental development are the theme of interest in this research. The objective of this study was to compare the energy consumption by sector of the Brazilian and Honduran energy matrix and its dependence on non - renewable energy. The countries involved in this research are Brazil and Honduras both are located in Latin America, with a territorial extension of 8516000 km^2 and 112492 km^2 respectively. The methodology used was qualitative through a survey, where information was sought regarding the objective of this work.

Scientific articles were consulted on specialized websites, statistical data on energy consumption were obtained from international organizations. The results show that both countries are dependent on non-renewable energy to cover energy demand but are on the right track in diversifying their energy matrix.

Keywords: sustainable development, energy efficiency, renewable energy.

1. INTRODUÇÃO

O mundo conta com uma variedade de recursos naturais que podem ser utilizados para satisfazer as necessidades do homem, que com o passar do tempo este procura tirar todas as vantagens possíveis destes recursos que ajudam no desenvolvimento da sociedade melhorando a qualidade de vida. Com o uso destas vantagens, desenvolvem-se tecnologias que auxiliam na produção de alimento, na exploração e na produção de energia e mesmo assim, são muitos os desafios econômicos, ambientais e sociais a enfrentar para poder melhorar as condições de vida da população mundial.

A energia é uma das bases mais importantes de uma sociedade. A demanda energética mundial nos últimos anos tem expandido e consequentemente, aumenta a pressão sobre as diferentes fontes utilizadas, gerando alguns efeitos negativos nos recursos disponíveis na natureza (BORGES, 2008).

A energia possui um importante papel no comportamento ambiental dos países e ajuda na sustentabilidade do desenvolvimento do mesmo. No setor energético, o desenvolvimento sustentável depende de encontrar caminhos que possam trabalhar nas necessidades da demanda, obedecendo critérios do meio ambiente sustentável, economicamente viável e socialmente equitativo (OECD, 2000).

Segundo Attfield (1999), um bom desenvolvimento sustentável depende muito da responsabilidade que a sociedade tem no uso competente dos recursos e inclui uma restrição no uso da energia pela sociedade e na adaptação dos estilos de vida de acordo com os meios disponíveis no planeta sem comprometer o futuro.

Com o choque do petróleo nos anos de 1973 a 1974 e de 1979 a 1981 surgiu uma preocupação mais marcante com a eficiência energética que trouxe a percepção de escassez deste recurso energético e forçou a alta dos preços, surgindo uma série de ações recuadas à conservação e maior eficiência no uso dos seus derivados. Com isso, começou uma corrida para a diversificação da matriz energética usando uma maior segurança no atendimento à demanda de energia (MME, 2011).

Com a finalidade para encontrar alternativas que possam melhorar e garantir uma viabilidade e eficiência, gerando menos impacto no meio ambiente e tentando

atender as necessidades de cada sociedade, faz-se necessário ampliar de forma organizada sua matriz energética ou em alguns casos estabelecer novas normas ou regulamentos para um melhor uso das fontes até agora usadas (FREITAS, 2011).

Para Udaeta et al. (2004), a matriz energética é a representação real da repartição e aproveitamento dos recursos energéticos de um país e no mundo. A matriz vincula-se diretamente ao balanço energético e sua aplicação, cuja finalidade é apresentar o desenvolvimento da demanda e da oferta de energia. Consideram-se ainda, que “a matriz energética é o resultado dos fluxos energéticos das fontes primárias e secundárias de energia, desde a produção até o consumo final”.

Uma matriz energética composta de fontes renováveis não é necessariamente uma matriz mais limpa, já que em sua estrutura pode existir fontes poluentes como o carvão vegetal e a lenha (LÜCKEMEYER, 2010).

As energias renováveis são consideradas como uma importante fonte de energia limpa. O acelerado crescimento no setor elétrico é impulsado por muitos fatores como, por exemplo, o aumento na rentabilidade da tecnologia para recursos renováveis, as iniciativas nas políticas, melhor acesso ao financiamento, seguridade energética e ao meio ambiente e a necessidade de ter acesso a uma energia modernizada. E nos países em desenvolvimento estão surgindo novos mercados, para a energia renovável (REN21, 2016).

Para Barros (2007), as fontes de energia renováveis já comprovaram ter condições de sustentar a economia mundial de muitas maneiras. No entanto, os combustíveis fósseis e a eletricidade formam a base para operar no atual modelo tecnológico.

No caso do Brasil e de Honduras a questão não é diferente das demais regiões do mundo. Estes países também estão procurando novas opções para diversificar a oferta energética e avaliar o desenvolvimento da matriz energética. Neste sentido é necessário aproveitar as experiências na geração de energia do passado ou de outros países com condições similares.

O Brasil e Honduras foram escolhidos por serem dois países pertencentes à América Latina, respectivamente, América do Sul e Central, de grande extensão territorial e pelo uso de fontes renováveis e não renováveis de energia.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma comparação do consumo energético por setor da matriz energética brasileira e hondurenha e sua dependência de energia não renovável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Os países envolvidos nesta pesquisa são Brasil (Figura 1) e Honduras (Figura 2) ambos estão localizados na América Latina, com uma extensão territorial de 8.516.000 km^2 e 112.492 km^2 respectivamente. (UNITED NATION, 2017).

O Brasil é o quinto maior país do mundo em área territorial e, tem uma população de aproximadamente 200 milhões de pessoas distribuídas em 27 estados. O país é dotado de recursos naturais e um dos principais produtores e exportadores de produtos agrícolas, minério de ferro e calcário. O Brasil é o sétimo maior consumidor de energia do mundo e o terceiro maior das Américas. O consumo total de energia aumentou em mais de um terço na última década devido ao crescimento econômico do país (IDB, 2016).

Honduras é o segundo país com maior extensão territorial da América Central, tem uma população de aproximadamente 8,8 milhões de pessoas distribuídas em 18 estados. A demanda de energia aumentou consideravelmente devido ao crescimento socioeconômico do país. Os usos de fontes alternativas de energia como a energia renovável tornaram-se de grande importância devido à dependência de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica (LAGOS; GOMEZ, 2010).

Esses países procuram cada vez mais a diversificação da matriz energética, por meio da utilização de fontes renováveis que assegurem a conservação e preservação do meio ambiente.

A coleta de dados foi de sondagem por meio de pesquisas bibliográficas e dados secundários obtidos à partir de plataformas de instituições nacionais, internacionais e centros de informação nos países envolvidos, sendo de caráter compreensivo e explicativo (SPADOTTO, 2015a). Primeiramente, foi realizada uma pesquisa exploratória para coleta de dados na *Internet* e nas bases de dados, para

assegurar a existência dos dados que seriam utilizados (SEVERINO, 2007; GIL, 2010).

Para os dados obtidos do consumo energético por setor dos países foram consultados dados de fontes especializados internacionais e nacionais, no qual foi possível estudar quais são as características da matriz energética e suas dependências de energia não-renováveis. Os dados foram agrupados e classificados em ordem cronológica possibilitando a confecção de tabelas.

2.2 MÉTODO

A investigação realizada, tanto na fase de sondagem como na exploratória, foi classificada como qualitativa nos critérios científicos (MARCONI; LAKATOS, 2010; MICHEL, 2015).

O presente trabalho foi desenvolvido por meio de uma pesquisa de exploração (SPADOTTO, 2015b), feita com o critério de uma pesquisa qualitativa, coerente com a abordagem teórica adotada, orientada na construção de conceitos a partir da interpretação da realidade, lembrando que abordagens qualitativas trazem contribuições fundamentais na pesquisa, pelo caráter investigativo e descritivo, com ênfase nos processos para avaliar o efeito das estratégias jurídicas na mudança da matriz energética em ambos os países.

Para Seabra (2010), a investigação qualitativa é um campo de investigação próprio, que abarca disciplinas, campos de estudo e temas que vem sofrendo inúmeras transformações. O termo qualitativo sugere uma ênfase nas qualidades das entidades, nos processos e significados, valorizando a qualidade social construída da realidade, criando uma relação íntima entre o investigador e objeto de estudo, abreviando os aspectos fundamentais da investigação qualitativa, fazendo que o investigador seja o instrumento de investigação e construindo uma história que junte os participantes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados encontrados no desenvolvimento desta pesquisa foram elaboradas tabelas com dados do consumo energético por setor para o Brasil e para Honduras. Uma parte destes resultados serviu como refinamento de dados.

Apesar dos esforços feitos para permitir o acesso universal da energia moderna ainda existe muito para fazer, pois este recurso impacta positivamente no desenvolvimento nos aspectos de educação, saúde, igualdade de gênero, entre outros. É por isso que o Brasil e Honduras procuram sempre melhorar as condições de vida da população criando programas no setor energético que são benéficos as pessoas.

A população do Brasil e de Honduras, tem uma tendência de crescimento para o ano de 2050 de 232.688 e 13.249 milhões de pessoas, respectivamente (UNITED NATION, 2017), e isso contribui para o aumento da demanda e do consumo de energia nos dois países. O Brasil e Honduras são países tropicais dotados de recursos naturais e biodiversidade os quais são utilizados para a geração de energia por meio de fontes renováveis.

De acordo com o EPE (2017), a evolução demográfica e os efeitos sociais e econômicos, são de muita importância para explicar o consumo de energia no Brasil (Tabela 1).

Tabela 1: Consumo energético (%) por setor do Brasil (BID, 2016)

Ano	**Setor**				
	Indúst	**Transp**	**Resid**	**Comérc**	**Outros**
2000	37	31	13	5	14
2001	37	31	13	5	14
2002	38	31	13	5	13
2003	39	30	13	5	13
2004	39	31	13	5	12
2005	39	31	13	5	12
2006	40	30	12	5	13
2007	40	31	12	5	12
2008	39	32	12	5	12
2009	37	33	12	5	13
2010	38	33	11	5	13
2011	38	34	11	5	12
2012	37	35	11	5	12
2013	36	36	10	5	12
2014	35	37	11	5	12
2015	33	32	10	7	19
2016	33	32	10	6	19

Fonte: Os autores

Os setores que mais consumiram energia nos anos de 2000 a 2016 foram o setor da indústria, transporte, residência, comércio e outros (BID, 2016).

Destes, a indústria apresentou o maior consumo no período analisado. De 2000 a 2011, a variação de consumo era entre 37 % e 40 % o que se explica devido

ao consumo para fabricação e transformação de matérias primas em bens manufaturados, porém, a partir de 2012, aconteceu o decréscimo do consumo, chegando em 2016 a 33 %. Tal fato pode ser explicado pela crise que a economia brasileira sofreu e isso, consequentemente, fez o setor industrial reduzir sua produção que refletiu diretamente no consumo de energia.

O transporte é o setor que apresentou o segundo maior consumo energético no Brasil, no período analisado. A exceção ocorreu nos anos de 2013 e 2014, onde o transporte igualou e superou o setor industrial, respectivamente.

O terceiro setor é o da residência no qual seus valores de consumo variavam entre 10 % e 13 %, houve um decréscimo no qual chegou em 2013, 2015 e 2016 a 10 %. Novamente, faz-se um paralelo aqui referente a fase ruim do cenário econômico e ao aumento das tarifas de energia elétrica (a falta de chuvas reduziu o nível de água nos reservatórios das hidrelétricas e isso foi um dos principais fatores para o aumento do custo da energia) que consequentemente, ocasionou a desaceleração do consumo.

O uso de fonte hídrica na matriz de eletricidade do Brasil é a mais predominante com uma variação de 41 % a 63 % no período de 2007 a 2016,a segunda fonte mais utilizada para a geração de energia no Brasil foi o gás natural (BID, 2016).

Segundo EY (2016), a produção diária de gás natural no Brasil nos anos de 2004 e 2013 apresentou um crescimento de 66 %, obtendo uma produção média diária de 46 milhões de m^3 de gás natural em 2004 e em 2013 teve uma média diária de 77 milhões de m^3 de produção desta fonte.

De acordo com MME (2017), em 2016, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) ficou 0,7 % superior em comparação ao ano de 2015. Merecem destaque os aumentos na oferta energética que vem das fontes eólica e solar. As ofertas por óleo fóssil, gás natural e carvão mineral retrocederam 52,8 %, 28,9 % e 9,8 %, respectivamente, incrementando o uso de fontes renováveis na oferta energética.

Segundo o BID (2016), o desenvolvimento socioeconômico e demográfico, são extremamente importantes para explicar o consumo de energia de Honduras (Tabela 2). No caso de Honduras os setores que mais consumiram energia nos anos de 2000 a 2014 foram o setor residência, transporte, indústria, comércio e outros.

Tabela 2: Consumo energético (%) por setor de Honduras

Ano	Setor				
	Indúst	**Transp**	**Resid**	**Comerc**	**Outros**
2000	22	28	48	4	0
2001	17	26	44	6	7
2002	19	25	43	6	7
2003	17	24	42	9	8
2004	18	22	43	9	8
2005	17	22	44	6	10
2006	18	22	46	6	8
2007	21	28	44	5	2
2008	18	27	47	5	3
2009	16	27	48	5	5
2010	16	27	48	5	4
2011	21	25	45	5	4
2012	23	25	43	5	4
2013	23	25	46	5	2
2014	15	27	51	5	3

Fonte: BID (2016)

As variações do consumo de Honduras são diferentes do consumo do Brasil, já que o setor que mais consome energia é o setor de residência, no período analisado, este consumo com o passar dos anos só aumentou. De 2000 a 2010, a variação de consumo era entre 42 % e 48 %, este devido ao aumento populacional do país. No ano de 2013 aumentou novamente o consumo de energia e chegou em 2014 com 51 %, sendo mais da metade da energia consumida no país. Lembrando que a maior parte da energia gerada vem de fontes térmicas, e Honduras é um importador nato de hidrocarbonetos conforme o estabelecido pelo BID (2016).

O segundo setor que mais consumiu energia em Honduras foi o transporte. Tendo uma variação de 22 % a 28 % de consumo energético, estes valores não são constantes ao longo dos anos já que nos anos de 2000 a 2010 ocorreram aumentos e diminuições de consumo.

Corroborando com OLADE (2014), que menciona que a matriz elétrica de Honduras tem uma alta dependência de combustíveis fósseis e é um importador nato, também apresenta um alto uso de lenha. Honduras conta com uma ampla fonte de energia renovável, principalmente, de origem hidro e também tem potencial eólico, solar e geotérmico, assim como o uso da palma africana para a geração de biocombustíveis.

Conforme descrito pela ENEE (2017), a produção de energia solar de Honduras se posiciona em primeiro lugar a nível centro-americano neste tipo de

geração. Na atualidade, conta com 15 planta fotovoltaicas que geram 454 MW e que contribui para suprir a demanda de energia da zona sul e outras zonas do país. A riqueza natural de Honduras é privilegiada e recentemente incorpora-se ao sistema elétrico nacional, 35 MW da primeira planta a base de energia subterrânea ou geotérmica.

O país procura cada vez mais a diversificação de sua matriz energética tentando fazê-la menos dependente de energia não renovável e incentivando o uso de energia limpa provinda de fontes renováveis das quais o país está dotado.

O setor energético é um dos que mais ajuda no desenvolvimento e na melhoria da qualidade de vida da sociedade. De acordo com Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007), o Brasil tem uma importante vantagem comparativa no setor energético, pela abundância de recursos naturais que tem no país, ajudando na produção de energia a baixos custos em termos relativos.

4. CONCLUSÕES

Ao analisar as caraterísticas da matriz de eletricidade do Brasil e de Honduras e suas dependências de energia não renovável, foi possível comprovar que ambos os países ainda são dependentes de fontes fósseis para poder suprir a demanda energética. Vale ressaltar que a dependência de Honduras é maior.

O uso de fontes renováveis para a geração de energia elétrica no Brasil e de Honduras são significativas, obtendo uma porcentagem alta de participação na matriz energética.

Ambos os países estão acompanhando as tendências energéticas mundiais seguindo no caminho correto para a melhoria do setor energético.

REFERÊNCIAS

ATTFIELD, R. **The ethics of global environment**. Edinburgh University Press, Edinburgh, 1999.

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO - BID. Conjunto de datos: Base de datos de energias. São Luís, 2016. Disponível em: http://www.iadb.org/es/temas/energia/ base-de-datos-de-energia/base-de-datos-de-energia,19144.html?view=v11>. Acesso em: 25 set. 2017.

BARROS, E.V. A matriz energética Mundial e a competitividade das Nações: bases de uma nova geopolítica.**ENGEVISTA**, Marechal Cândido Rondon, São Luís, v. 9, n. 1, p. 47-56, junho. 2007.

BORGES, R. E. S. Comparación de las matrices energéticas Brasileña y Mundial: perspectivas e inquietudes sobre agrocombustibles. Jornadas de Economía Crítica, 11**. Anais...**, Bilbao, 1 22p, 2008. Disponível em: <http://webs.ucm.es/info/ec/ecocri/cas/Santana_Borges.pdf>. Acesso em: 05 set. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha energética brasileira:** Resultados de 2016. Brasília, 2017. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/ documentos/ 10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3 %A9tica+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+%28PDF %29/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4? versão=1.0>. Acesso em: 18 abr. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano nacional de eficiência energética:** Premissas e diretrizes básicas. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%AAncia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1>. Acesso em: 20 mar. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE.Projeção da demanda de energia elétrica: para os próximos 10 anos (2017-2026). Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/ publicações-dados-abertos/publicações/Publicações Arquivos/publicacao 245/topico 261/DEA%20001_2017 %20 %20Proje%C3%A7%C3%B5es %20da%20 Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF[1].pdf>. Acesso em: 18 abr. 2018.

EMPRESA NACIONAL DE ENERGIA ELECTRICA - ENEE. Energía Limpa Para Honduras. 2017. Disponível em: <http://www.enee.hn/index.php/ noticias/ noticias/ 156-periodistas/1409-61-de-la-energia-de-honduras-proviene-de-plantas-de-generacion-renovable>. Acesso em: 30 abr. 2018.

ERNST & YOUNG ASSESSORIA EMPRESARIAL - EY. Desenvolvimento do gás natural no Brasil. 2016. Disponível em: < http://www.ey.com/Publication/ vwLUAssets/EY_Desenvolvimento_do_gas_natural_no_Brasil/$FILE/Estudo_Gas_Web.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2018.

FREITAS, G. S. **As modificações na matriz energética Brasileira e as implicações para o desenvolvimento sócio-econômico e ambiental**. Porto Alegre, 2011. 229p. Tese (Doutorado em Economia).Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/40251/000822367.pdf?sequence=1>. Acesso em: 04 jan. 2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed., São Paulo: Atlas, 2010. 184 p.

INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK - IDB. **Energy Dossier Brazil**. Brasília, Infrastructure and Energy Department Energy Division. 2016. Disponível em: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7989/Energy-DossierBrazil.pdf?sequence=1&isAllowed= y>. Acesso em: 13 out. 2017.

LAGOS, C. A.; GOMEZ. R. Honduras Country, Update**.** In:**Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali**, Indonesia, April 2010.

LÜCKEMEYER,A. C. A. B. **Análise da matriz energética Brasileira sob avisão sistêmica :** Programas Energéticos Governamentais e a redução de gases de efeito estufa. Curitiba, 2010. 165p. Dissertação (Mestrado em tecnologia),Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010.
Disponível em: <http://files.dirppg.ct.utfpr.edu.br/ppgte/dissertacoes/2010/ppgte_dissertacao_312_2010.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MICHEL, M. H. **Metodologia e pesquisa científica em ciências sociais**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2015.

ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA -OLADE-. **Mejorando el acceso a los Mercados Energéticos Honduras Informe Final.** Tegucigalpa,1–30p, 2014. Disponível em: <http://biblioteca.olade.org/ opac-tmpl/Documentos/old0374.pdf>. Acesso em: 19 set. 2017.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT -OECD. **Toward Sustainable Development:** Indicators to measure progress. Proceedings of the OECD Rome Conference. Roma, Vol. II Frameworks and indicators. 2000. Disponível em: <http://www.oecd.org/site/worldforum/33703694.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY - REN21. **Energías Renovables 2016 reporte de la situación mundial.** Quito, 2016. Disponível em: <www.ren21.net/gsr>. Acesso em: 25 ago. 2017.

SEABRA, F. I. B. de. **Ensino básico:** repercussões da organização curricular por competências na estruturação das aprendizagens escolares e nas políticas curriculares de avaliação. Portugal, 2010. 286p. tese (Doutor em educaçao). Universidade do minho. Braga, 2010. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/ 1822/10877/1/tese.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2017.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico**. 23 ed. São Paulo: Cortez, 2007. 304p.

SPADOTTO, A. J. Análise jurídica e ambiental do uso de manta aluminizada na edificação urbana. **Revista novos estudos jurídicos. Itajaí,** v. 20, n. 2, 711 - 726p, 31 jul. 2015a. Disponível em: <https://siaiap32.univali.br/seer /index.php/nej/article/viewFile/ 7888/4473>. Acesso em: 16 ago. 2017.

SPADOTTO, A. J. **Método Científico Aplicado e Discutido:** Teoria e Prática. Curitiba: Juruá, 2015b

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz Energetica Brasileira: Uma prospectica. **Scielo, Novos estudios - CEBRAP**, São Paulo, n 79. 47-69p. 2007. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php? script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003>. Acesso em: 17 jan. 2017

UNITED NATIONS. **World population prospects**: the 2017 revision. New York: United Nations, 2017. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2018.

UDAETA, M. Energia. In: GALVÃO, L.; GRIMONI, J.; UDAETA, M. (orgs.). **Iniciação a Conceitos de Sistemas Energéticos para o Desenvolvimento Limpo.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

CAPÍTULO 07

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO POR MEIO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

Mikael Timóteo Rodrigues
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: mikaelgeo@gmail.com

Bruno Timóteo Rodrigues
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: brunogta21@gmail.com

Tiago Makoto Otani
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: tiagomotani@gmail.com

Felipe de Souza Nogueira Tagliarini
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: edu.nog@gmail.com

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP.
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Resumo: Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) são apontados como a nova revolução das geotecnologias após o sistema GPS, adequando possibilidades que estão surgindo com praticidade logística e financeira da área de levantamentos por meio de aeronaves remotamente pilotadas. Objetivo do trabalho foi desenvolver levantamento topográfico em uma área agrícola, fazendo-se uso de Veículo Aéreo Não Tripulado, modelo MAVIC Pro da DJI, empregando princípios de aerofotogrametria. Para tanto, a missão de sobrevoo definiu parte da Fazenda Escola Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando, (UENP/CLM), na cidade de Bandeirantes - PR, caracterizada por uma extensão de três (3) hectares. Com a detecção automática de pontos homólogos, bem como a amarração entre os pares de imagens, utilizando o aplicativo de modelagem foi possível encontrar pontos de amarração entre as 321 imagens geradas no levantamento, uma vez que foi modelado com sucesso o ortomosaico. Estes parâmetros permitiram gerar a ortofoto e seus respectivos modelos digitais de superfície. O levantamento topográfico em uma área agrícola, fazendo-se uso de VANT, mostrou-se satisfatório. A plataforma utilizada no aerolevantamento, o VANT e o sensor fotográfico nele acoplado, demonstraram ser capaz de atender satisfatoriamente a metodologia adotada.

Palavras-chave: Aerofotogrametria por VANT, Sensoriamento Remoto, Topografia.

Abstract: The Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are esignated as the new geotechnology revolution after the GPS system, adapting possibilities that are

emerging with logistic and financial practicality of the surveying area through remotely piloted aircraft. The objective of this work was to develop a topographic survey in an agricultural area, using an Unmanned Aerial Vehicle model, MAVIC Pro model from DJI, using aerophotogrammetry principles. For that, the overflight mission defined part of the Fazenda Escola Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando, (UENP / CLM), in the city of Bandeirantes - PR, characterized by an extension of three (3) hectares. With the automatic detection of homologous points, as well as the mooring between the pairs of images, using the modeling application it was possible to find mooring points among the 321 images generated in the survey, once the orthostatic was successfully modeled. These parameters allowed to generate the orthophoto and its respective digital surface models. The topographic survey in an agricultural area, making use of one of UAV, proved satisfactory. The platform used in the aerial survey, the UAV and the photographic sensor in it coupled, proved to be able to satisfactorily fulfill the methodology adopted.

Keywords: Aerophotogrammetry by UAV, Remote Sensing, Topography.

1. INTRODUÇÃO

Com o surgimento e inserção dos Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs) na agricultura, os levantamentos topográficos passam a ganhar uma nova transição de modelo padrão, uma quebra de paradigma com as novas possibilidades e seus respectivos benefícios de custos operacionais e tempo de trabalho em analogia aos métodos tradicionais. Segundo Rodrigues et al. (2017) o principal ponto que proporcionou a popularização dos VANTs foi o fato da acessibilidade financeira à tecnologia, o que antes, a exemplo da Fotogrametria, com alto custo de viabilidade, era apenas disponível para o setor público e grandes empresas de engenharia.

O Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) anunciou a Norma de Execução Incra/DF/02, de 19 de fevereiro de 2018, que estabelece critérios para aplicação e avaliação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria por VANTs na determinação de coordenadas de vértices definidores de limites de imóveis rurais.

Geralmente os avanços das geotecnologias inicialmente ocorrem no mercado militar, felizmente estas tecnologias posteriormente ganham espaço no mercado civil, proporcionando grandes benefícios, foi assim com o GPS (*Global Position System*) e está sendo com os VANTs (RODRIGUES et al., 2017). Os VANTs ou Drones (como são popularmente conhecidos) são apontados como a nova revolução das geotecnologias após o sistema GPS, adequando possibilidades que estão surgindo com praticidade logística e financeira da área de levantamentos por meio de aeronaves remotamente pilotadas.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi apresentar uma metodologia de levantamento topográfico em uma área agrícola, fazendo-se uso de um Veículo Aéreo Não Tripulado, por meio de fotogrametria e princípios de sensoriamento remoto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

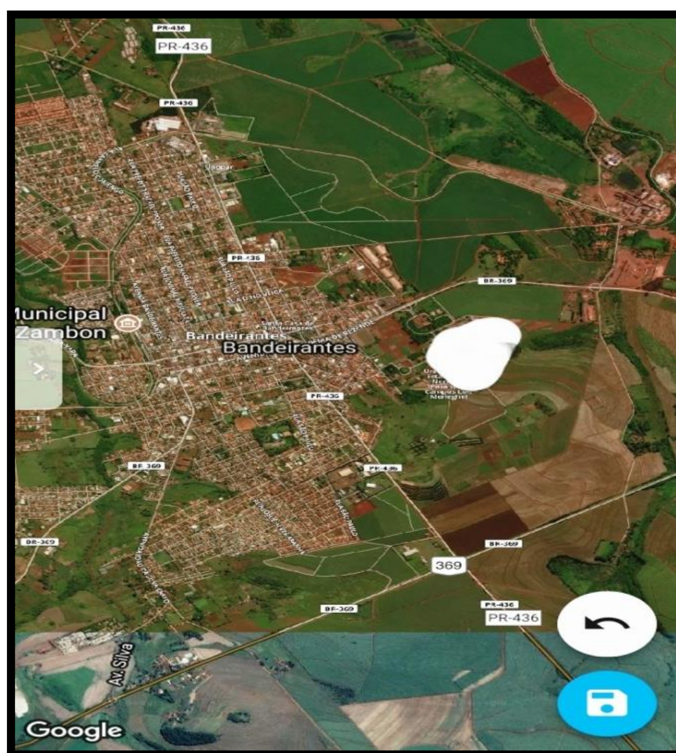
2.1 ÁREA DE ESTUDO

Para alcançar o desenvolvimento da metodologia aqui proposta, isto é, levantamento topográfico em uma área agrícola, fazendo-se uso de Veículo Aéreo Não Tripulado, por meio de fotogrametria e princípios de sensoriamento remoto, se

fez necessária a identificação dos benefícios que esta tecnologia pode trazer referente aos procedimentos técnicos atuais.

A área alvo do imageamento está situada na Fazenda Escola Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando, estabelecida dentro da Universidade Estadual do Norte do Paraná – Campus Luiz Meneghel (UENP/CLM), na cidade de Bandeirantes - PR, caracterizada por uma extensão de três (3) hectares. Nas Figuras 1 e 2 são demonstrados os segmentos onde foi desenvolvido o levantamento com o plano de voo do VANT, apontando a rota da missão para captura das imagens com objetivo de construção do mosaico ortorretificado.

Figura 1: Área de estudo localizada na cidade de Bandeirantes – PR



Fonte: Os autores

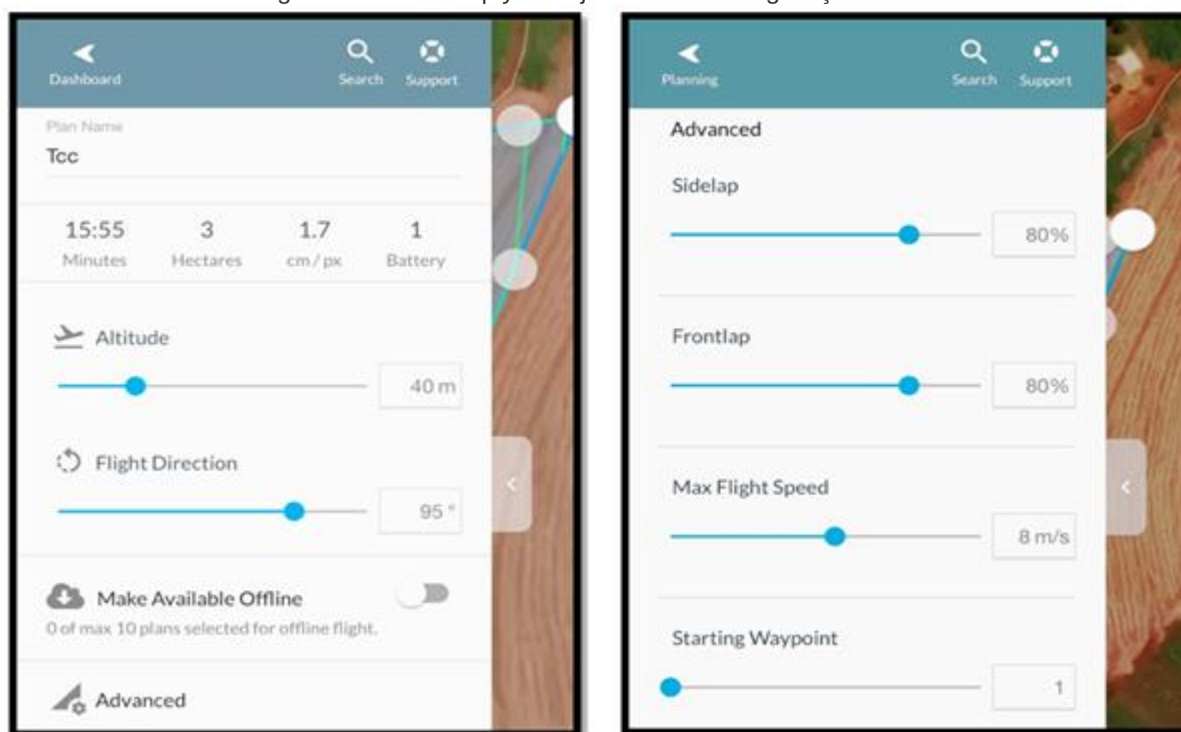
Figura 2: Plano de voo do VANT na área de estudo



Fonte: Os autores

A definição da área do voo foi estabelecida em campo com o auxílio do aplicativo do tipo *Ground Station* denominado Drone Deploy, este sendo um software livre, de código aberto e disponibilizado gratuitamente na internet, onde neste foi possível programar os voos com o VANT, assim, definindo a altura desejada e a velocidade de voo bem como as áreas e a porcentagem de sobreposição das imagens (Figura 3).

Figura 3: Drone Deply com janelas de configuração de voo



Fonte: Os autores

2.2 AQUISIÇÃO DE IMAGENS AÉREAS

As imagens foram obtidas em julho de 2017 por meio de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) do tipo multirrotor (Quadrirrotor), modelo MAVIC Pro da DJI (Figura 4). Para tanto, a missão de sobrevoo definiu como setor alvo a área citada no item 2.1.

Os comandos de voos foram realizados nos três eixos: a) para frente e para trás (Pitch); b) direita e esquerda (*Roll*); c) para cima e para baixo (*Elevator*), além da rotação no próprio eixo para direita e esquerda (*Yaw*). A plataforma do VANT possui um sistema embutido denominado *Inertial Measurement Unit* (IMU), que possibilita o controle da altitude através de um sensor de inércia e um altímetro barométrico. O sistema *Compass* realiza a leitura da informação geomagnética com o auxílio do GPS aumentando a acurácia do cálculo da posição e altura do VANT. O VANT também possui um sistema de estabilização da câmera, um Gimbal de três eixos, que auxilia na qualidade das imagens obtidas da plataforma durante o voo, possibilitando uma boa coleta de imagens.

Figura 4: VANT Mavic Pro



Fonte: Os autores

O sensor acoplado no VANT para aquisição das imagens, CMOS de ½, 3 pol para captura de imagens a 30 *fps*, possui resolução de 4000 x 3000, com 12 Megapixels, com comprimento focal de 4.73 mm, capaz de gerar imagens com GSD (*Ground Sample Distance*) de até 1,38 cm/pix. Os modos de captura de imagens disponíveis incluem disparo sequencial, contínuo e de modo intervalado. A velocidade para capturar as imagens foi estipulada em 7 m/s (aproximadamente 25,2 km/h), podendo haver variação dependendo da velocidade e direção do vento. As imagens possuem recobrimento/sobreposição frontal (*Overlap*) de 80% e lateral (*Sidelap*) de 80%.

Considerando o tamanho físico e a distância focal do sensor, a altura máxima do voo foi estipulada em 65 metros, observando também as condições do levantamento e o regulamento especial da Anac, que define as regras gerais para o uso civil de aeronaves não tripuladas no Brasil. O teto de voo de 120 metros definido pela Anac não foi alcançado, pois a área recoberta é relativamente pequena e o sensor usado apresenta pequena distância focal.

Portanto, adotou-se a equação proposta por Falkner (1995) para calcular a área de recobrimento de imagens aerofotogramétricas, onde:

Ac = (Av/Df . Ls) . (Av/Df . Cs)

Em que:

Ac = Área coberta

Av = Altura do voo em relação ao solo

Df = Distância focal

Ls = Largura do sensor

Cs = Comprimento do sensor

2.3 SEGURANÇA

A utilização e operação desta tecnologia exige um elevado grau de segurança, desde a decolagem, programação do voo até sua aterrissagem. Desta maneira, o VANT deve oferecer segurança em sua operação para não proporcionar riscos à situação de desastres, devendo o operador (piloto remoto) estar capacitado, em missões de Operação VLOS – Operação na qual o piloto mantém o contato visual direto com o VANT (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos).

2.4 GEORREFERENCIAMENTO, MOSAICO E ORTOFOTO

A missão produziu imagens aéreas em formato *JPEG*, incluindo os arquivos acessórios de sincronização de cada cena. As imagens possuem pontos de amarração, no sistema de coordenadas geográficas (latitude/ longitude), sendo adotado o SIRGAS 2000 como datum horizontal. Durante as incursões em campo, foram coletados pontos de controle por meio de GPS geodésico objetivando garantir a calibração e o georreferenciamento das imagens, bem como melhoria da acurácia do posicionamento e resultado final (Ortomosaico).

Durante a missão, o sensor foi programado para capturar uma imagem a cada três (3) segundos ao longo das rotas de imageamento, com sobreposição de 80%. De posse dos dados de campo, utilizou-se o software Pix4D Mapper de fotogrametria para realizar o processamento na nuvem, onde foi possível gerar e visualizar o ortomosaico. Assim, foi produzido um (1) mosaico ortorretificado, que foi

ajustado para que tivesse um elevado GSD, ou seja, boa resolução espacial. Foram geradas 321 imagens calibradas, destinadas à construção do ortomosaico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

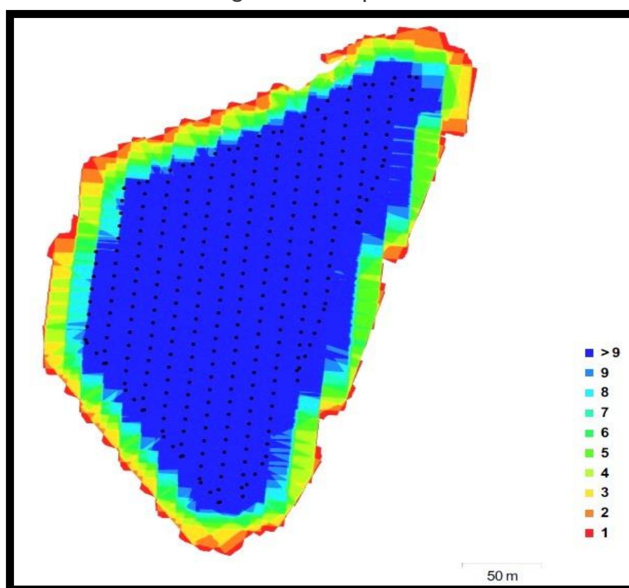
Os VANTs possuem peculiaridades técnicas e funcionalidades operacionais que podem oferecer uma relação de custo-benefício para fins de levantamento topográfico. No caso de áreas com superfícies homogêneas, possuidoras de grandes perímetros de solo preparado para o cultivo, come é o caso da área alvo do imageamento situada na Fazenda Escola Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando, é essencial que o sensor empregado no levantamento seja capaz de gerar imagens com determinado grau de heterogeneidade, pois desta forma, evita que o aplicativo de processamento interprete os produtos derivados do aerolevantamento como uma área "vazia" no ortomosaico da área estudada, pois o algoritmo do software necessita de pontos homólogos.

Desta forma, tais medidas operacionais foram adoradas antes e a pós o voo, o que resultou nos resultados aqui apresentados.

3.1 PROCESSAMENTO DE ORTOMOSAICO

Observando as Figura 5, gerada a partir do processamento das imagens, que trata da localização da câmera e sobreposição de imagens da área imageada pelo VANT, é possível verificar os pontos vermelhos e amarelos, que demostram as faixas de baixa sobreposição onde foram admitidos como resultados insatisfatórios, sendo a faixa azul as áreas de sobreposição satisfatória com acoplamento de pontos homólogos.

Figura 5: Número de imagens sobrepostas do ortomosaico



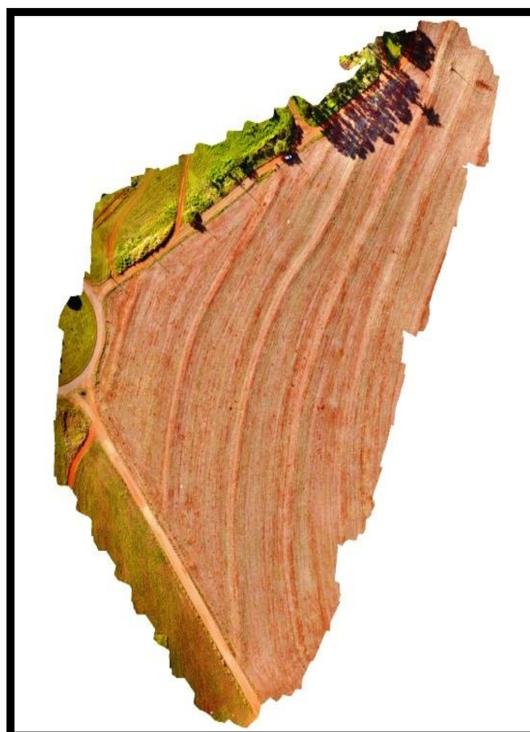
Fonte: Os autores

Com a detecção automática de pontos homólogos, bem como a amarração entre os pares de imagens, utilizando o aplicativo de modelagem foi possível encontrar pontos de amarração entre as 321 imagens geradas no levantamento, uma vez que foi modelado com sucesso o ortomosaico (Figura 6).

Tal operação gerou uma densa nuvem de pontos com valores de coordenadas X, Y e Z. Estes parâmetros permitiram gerar o ortomosaico e seus respectivos modelos digitais de superfície.

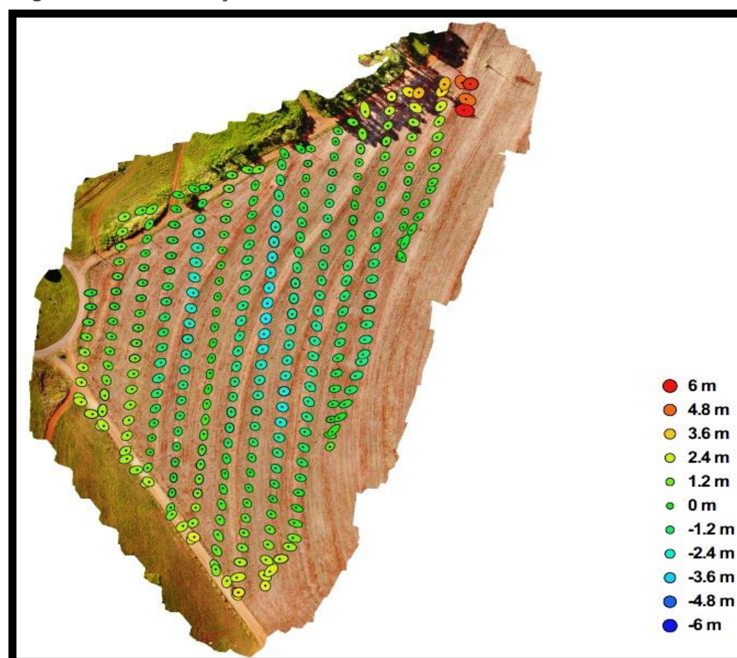
Ainda analisando o mosaico relativo à missão de imageamento, foram identificados e mapeados os locais da câmera (Figura 7), onde o erro Z é representado pela ‘cor’ das elipses. Os erros X, Y são representados pela ‘forma’ das elipses. As localizações estimadas da câmera são marcadas com um ponto preto. Desta forma, baseado no gráfico sob a imagem, bem como a legenda, observa-se que a região periférica do levantamento possui uma maior tendenciosidade ao erro, pois as imagens que compõem esta região da área de estudo não possuem pontos homólogos de áreas adjacentes, com isso, também não vão possuir dados de correlação para calibrar a periferia do mosaico, deste modo, diminuindo a acurácia das bordas com relação aos perímetros centrais.

Figura 6: Ortomosaico proveniente do aerolevantamento



Fonte: Os autores

Figura 7: Localizações da câmera e estimativas de erro

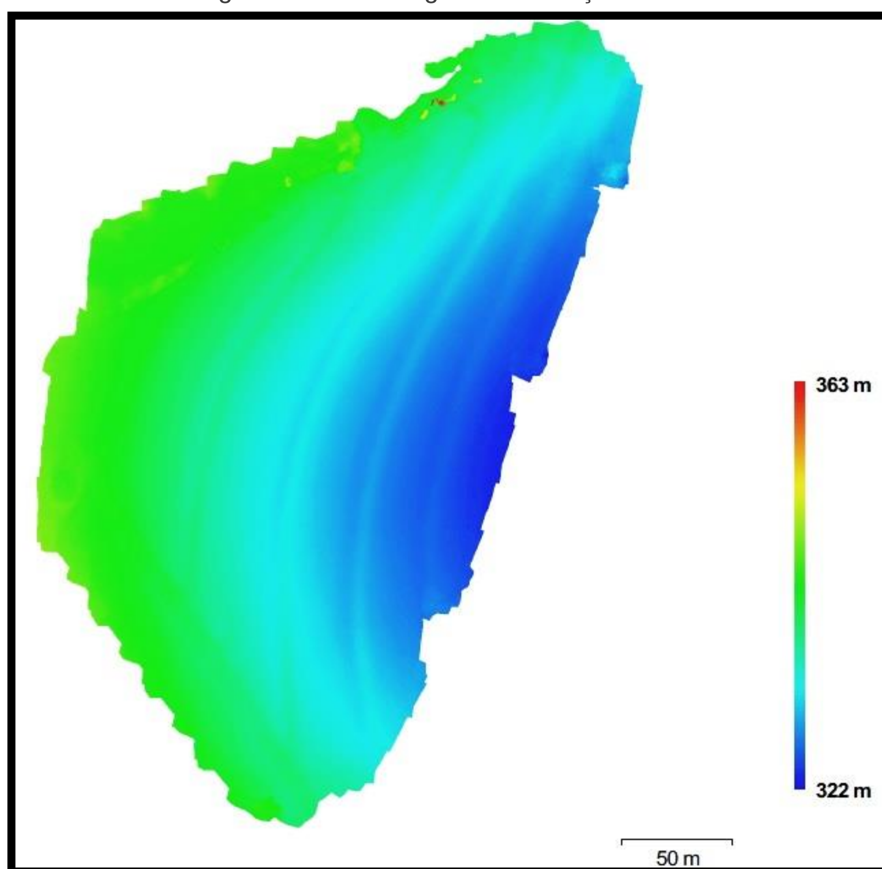


Fonte: Os autores

Quanto maior for a elipse com relação as localizações estimadas da câmera (pontos pretos), menos confiável será os valores deste perímetro, tanto da elipse, quando da região na qual compõe.

Outro importante parâmetro derivado a partir da detecção automática de pontos homólogos utilizando a modelagem do aplicativo foi a geração do Modelo Digital de Elevação (Figura 8), com densidade de ponto de 82,34 (nuvem de pontos por metro quadrado). Tal operação foi produto de uma densa nuvem de pontos.

Figura 8: Modelo digital de elevação



Fonte: Os autores

3.2 VALIDAÇÃO DO TEMPO DE LEVANTAMENTO E CUSTO DE OPERAÇÃO

O tempo de voo, de acordo com o planejado, durou em torno de quinze (15) minutos e cinquenta e cinco (55) segundos. Posteriormente, as imagens foram processadas para gerar o ortomosaico, levando pelo aplicativo aproximadamente oitenta (80) minutos. Desta forma, se somado o tempo de voo do VANT ao

processamento das imagens, temos como resultado um período total de levantamento topográfico, de uma área com extensão de três (3) hectares, noventa e cinco (95) minutos e cinquenta e cinco (55) segundos.

Com relação ao tempo desprendido ao se utilizar técnicas de levantamento topográfico convencional, fazendo-se uso de Estação Total, Vogel et al. (2011), prospectou de uma área de vinte (20) hectares, com tempo de vinte e sete (27) horas em campo, bem como, de seis (6) horas de pós-campo em escritório, totalizando trinta e três (33) horas de prospecção e finalização (em caso de condições climáticas adequadas) em uma mesma área de estudo, uma vez que métodos tradicionais existe os entraves de acessibilidade restrita e/ou terreno acidentado.

Assim como no presente estudo, Fitzpatrick (2016) lenvantou áreas fazendo-se uso de VANTs desmostrando o poder oparecional e mais econônomico que o método convencional (transversal), com menor tempo gasto, com menor custo de operação e com a mesma acurácia de resultados.

O aerolevantamento com VANT, por sua vez, é um processo relativamente novo para aquisição de dados de topografia (ASINELLI FILHO, 2016) e é definido pelo Ministério da Defesa (2017) como conjunto das operações aéreas e/ou espaciais de medição e registro de dados do terreno com o emprego de sensores adequados, bem como a interpretação dos dados levantados.

4. CONCLUSÕES

O levantamento topográfico em uma área agrícola, fazendo-se uso de Veículo Aéreo Não Tripulado, por meio de fotogrametria e princípios de sensoriamento remoto mostrou-se satisfatório. Do ponto de vista operacional, verificou-se que a plataforma utilizada no aerolevantamento, o VANT MAVIC Pro e o sensor fotográfico nele acoplado, oferece vantagens técnicas e econômicas (por moderação de tempo de levantamento em campo e pós-campo, bem como equipe reduzida) quando considerado aos métodos tradicionais de levantamento.

Sua utilização em missões destinadas a detecção de alvos específicos e levantamentos topográficos tem sido potencializada, haja vista a flexibilidade dos

Veículos Aéreos Não Tripulados na incorporação de novas tecnologias de sensoriamento remoto.

REFERÊNCIAS

ASINELLI FILHO, R. **O passado, o presente, e o futuro do mercado de aerolevantamento no Brasil.** 2016. Disponível em: http://www.anea.org.br/artigos/MercadoAerolevantamentoRev04.pdf>. Acesso em: 25 set. 2017.

BRASIL. Norma de Execução INCRA/DF/ 02, de 18 de fevereiro de 2018. Estabelece critérios para aplicação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria para determinação de coordenadas de vértices definidores de limites de imóveis rurais em atendimento ao parágrafo 3° do artigo 176 da LEI n° 6.015. **Diário Oficial da União,** Brasília, DF, 18 fev. 2018. 2018.

FALKNER, E. **Aerial Mapping. Methods and Applications**, Boca Raton, 1995. 1ed. 322p.

FITZPATRICK, B. P. Unmanned aerial systems for surveying and mapping: cost comparison of uas versus traditional methods of data acquisition. 2016. 36 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, University Of Southern California, Los Angeles, 2016. Disponível em: <http://spatial.usc.edu/wp-content/uploads/2016/08/Fitzpatrick-Bryan.pdf>. Acesso em: 20 set. 2017.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **Cartografia e Aerolevantamento.** 2017.Disponível em: <http://www.defesa.gov.br/cartografia-e-aerolevantamento-claten>. Acesso em: 28 set. 2017.

RODRIGUES, B. T.; RODRIGUES, M. T.; CAMPOS, S.; CAMPOS, M.; TARUMOTO, M. B. Possibilidades e métodos de utilização no uso de DRONES/VANTS na agricultura. In: PUTTI, F. F.; SILVA, A. L. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A. (Orgs). **Tecnologias em agricultura sustentável.** Tupã-SP: Editora ANAP - Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista, 2017. p. 249-269.

VOGEL, E.; MARQUES, F. P.; ROCHA, I. R.; OLIVEIRA, R. C.; SARAIVA, C. C. S. Estudo de caso de um levantamento topográfico altimétrico realizado com estação total e laser Scanning terrestre. **Mundo Geo.** Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2011/09/08/estudo-de-caso-de-um-levantamento-topografico-altimetrico-realizado-com-estacao-total-e-laser-scanning-terrestre/>. Acesso em: 09 out. 2017.

CAPÍTULO 08

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA CÓRREGO ÁGUA DO BREJÃO – ANHEMBI, SP

Letícia Duron Cury
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: lecury@gmail.com

Amanda Aparecida de Lima
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: aalima@2603@gmail.com

Ana Clara de Barros
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: anaclara_imnha@hotmail.com

Thyellenn Lopes de Souza
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: thyellenn@hotmail.com

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Resumo: A análise morfométrica possui como característica diagnosticar mudanças, por meio de parâmetros morfológicos e seus processos, que ocorrem com ou sem interferência das atividades humanas. Com isso, o trabalho teve como objetivo realizar a caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Córrego Água do Brejão, no município de Anhembi-SP, por meio do levantamento de alguns parâmetros relacionados à dimensão, forma, relevo e drenagem, com a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) IDRISI 17.0 Selva, do software CartaLinx e da carta planialtimétrica do IBGE de nome Anhembi, datada de 1991. A partir dos resultados obtidos, foi possível constatar que a microbacia possui área (A) de 1.929 ha e perímetro (P) de 18,60 km. As características relacionadas à forma da microbacia, apontaram um formato ovalado e redondo, o que proporciona uma tendência a enchentes de média à alta. As características do relevo indicaram uma declividade média (D), considerada suave ondulado, proporcionando um menor risco de erosão, pois apresenta baixa velocidade de escoamento superficial. O coeficiente de rugosidade (RN) identificou solos apropriados para agricultura. Para as características relacionadas à drenagem, os valores da densidade de drenagem (Dd), confirmaram o baixo escoamento superficial da microbacia. Dessa forma, a atual situação da microbacia induz em um melhor planejamento em relação à conservação ambiental por meio de um plano de monitoramento.

Palavras-chave: Morfometria, sistemas de informação geográfica, geoprocessamento, conservação ambiental.

Abstract: Morphometric analysis has the characteristic of diagnosing changes, through morphological parameters and their processes, which occur with or without human activities interferences. The aim of this study was to perform the morphometric characterization of Água do Brejão stream watershed, Anhembi-SP, evaluating some parameters related to size, shape, relief and drainage, using the Geographical Information System (GIS) - IDRISI 17.0 Selva, the CartaLinx software and the IBGE planialtimetric chart named Anhembi, dated 1991. It was possible to verify in the results that the watershed has area (A) of 1,929 ha and perimeter (P) of 18.60 km. Related to the shape of the watershed, indicated an oval and round shape, providing a tendency to medium to high flood. The relief characteristics indicated a medium slope (D), considered smooth undulating, providing a lower risk of erosion, because a lower runoff velocity. The roughness coefficient (RN) identified suitable agriculture soils. For the drainage, values of drainage density (Dd) confirmed the low watershed surface runoff. Thus, the current microbasin situation leads to better planning in relation to environmental conservation through a monitoring plan.

Keywords: Morphometry, geographic information systems, geoprocessing, environmental conservation.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica representa uma unidade geomorfológica fundamental da superfície terrestre, considerada a principal unidade fisiográfica do terreno, pois suas características governam, no seu interior, todo o fluxo superficial da água. Para a formação da bacia, se torna necessário a presença de divisores d'água, cabeceiras ou nascentes, cursos d'água principais, afluentes, subafluentes, assim como, uma hierarquização dos canais escoadouros e uma distribuição dos solos predominantes (TUCCI, 1997). As bacias hidrográficas acabam se tornando importantes áreas para a conservação dos recursos naturais, sendo de fundamental importância o manejo racional desses recursos, buscando um desenvolvimento sustentável, quando se pensa em utilizar racionalmente as reservas de água para diversos fins, principalmente para o consumo humano, animal e para irrigação (SILVA et al., 2010).

As características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e o tipo da cobertura vegetal influenciam o sistema hidrológico de uma bacia hidrográfica (LIMA, 1986). Com isso, as características físicas e bióticas de uma bacia desempenham um importante papel nos processos do ciclo hidrológico, podendo ocasionar mudanças na infiltração, quantidade de água produzida como deflúvio, evapotranspiração e escoamentos superficial e sub-superficial. Além disso, as ações antrópicas também resultam em modificações no comportamento hidrológico, visto que a influência do homem ao interferir no meio natural pode afetar os processos hidrológicos (TONELLO, 2005).

Para iniciar os estudos em microbacias hidrográficas é necessário realizar uma análise morfométrica, que irá diagnosticar as condições fisiográficas naturais, através da análise de alguns parâmetros, tais como: fator de forma, densidade de drenagem, declividade do terreno, entre outros, que servem como indicadores da suscetibilidade à degradação ambiental (RODRIGUES et al., 2013). Com isso, o intuito da análise morfométrica é diagnosticar mudanças, que ocorrem com ou sem interferência das atividades humanas, auxiliando na análise de fenômenos geológicos que ocorreram em períodos de 100 anos ou menos, sujeitos às alterações significativas para a compreensão das mudanças ambientais antrópicas (PISSARRA et al., 2010).

O uso das geotecnologias vem colaborando nos estudos de morfometria, pois são tecnologias ligadas às geociências e correlatas, tornando possível um avanço no desenvolvimento de pesquisas, ações de planejamento, processos de gestão, manejo e outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico (FITZ, 2008).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem caracterizar de forma sistemática o comportamento e a variação espaço-temporal das condições naturais em uma determinada região (SILVA, 2009), sendo possível por meio dessas técnicas, produzir mapas que irão classificar a paisagem em uma determinada área, em séries temporais, para avaliar a evolução da situação (SILVA et al., 2010).

Diante deste contexto, o trabalho teve como objetivo realizar a caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Córrego Água do Brejão no município de Anhembi-SP, a partir do levantamento de alguns parâmetros relacionados à dimensão, forma, relevo e drenagem, realizado por meio da utilização do Sistema de Informação Geográfica IDRISI 17.0 Selva, do software CartaLinx e da carta planialtimétrica do IBGE de nome Anhembi, permitindo identificar a tendência de conservação ambiental da microbacia.

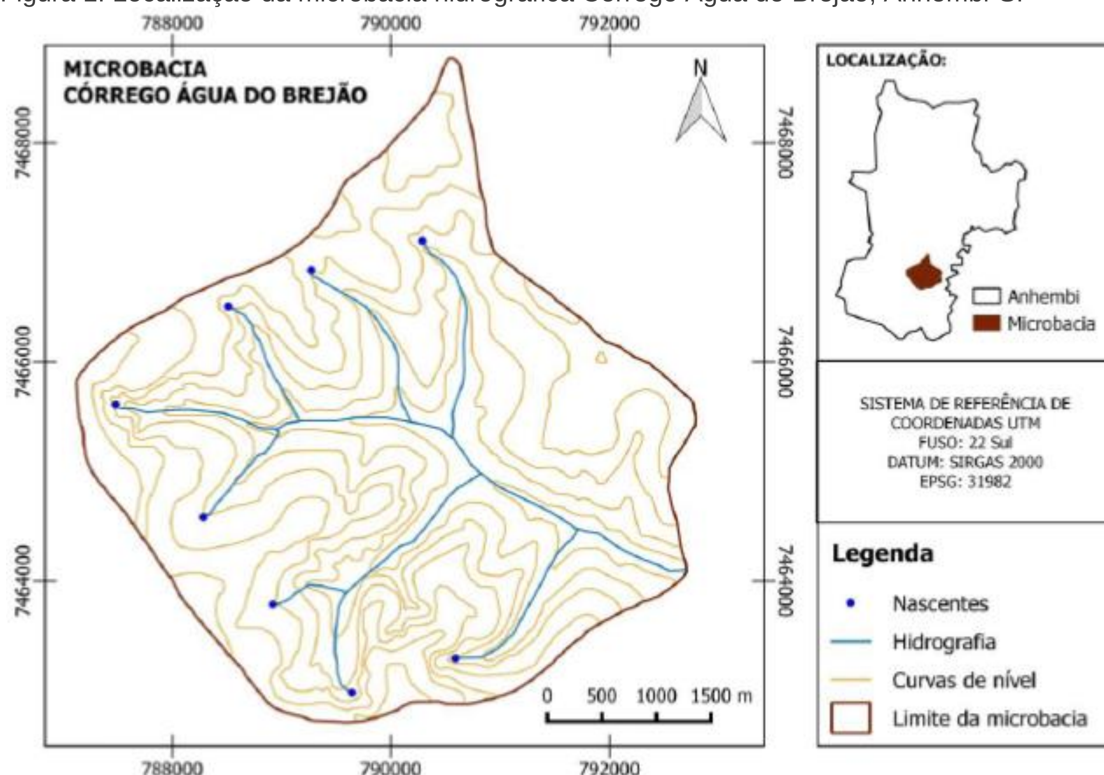
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A microbacia hidrográfica Córrego Água do Brejão, está inserida na bacia hidrográfica Sorocaba/Médio Tietê, situada no distrito de Piramboia, pertencente ao município de Anhembi-SP, localizado na microrregião de Botucatu e mesorregião de Bauru.

O Córrego Água do Brejão situa-se entre as coordenadas planas, relativas ao fuso 22S, determinadas: 7464000m a 7468000m N e 788000m a 792000m E (Figura 1), representando uma área de 1929 ha e perímetro de 18,60 km.

Figura 1: Localização da microbacia hidrográfica Córrego Água do Brejão, Anhembi-SP



Fonte: Os autores

De acordo com a classificação climática de Köeppen, o clima do município é do tipo Aw, clima tropical, com verão chuvoso e inverno seco, apresentando uma precipitação e temperatura média anual de 1307,2mm e 22,3° C, respectivamente (CEPAGRI, 2017).

2.2 MENSURAÇÃO DAS VARIÁVEIS

A delimitação da microbacia hidrográfica Córrego Água do Brejão foi obtida através da carta planialtimétrica do IBGE de nome Anhembi, datada de 1991, em escala 1:50.000, com equidistância entre as curvas de nível de 20 m.

O georreferenciamento da carta, medição da área e perímetro, foram desenvolvidos através do Sistema de Informação Geográfica IDRISI 17.0 Selva e para a vetorização das curvas de nível, rede de drenagem, divisor de água e nascentes foi utilizado o software CartaLinx.

2.3 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS ANALISADOS

2.3.1 PARÂMETROS DIMENSIONAIS

As variáveis analisadas relacionas à dimensão da microbacia, foram: área (A) que corresponde a toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, sendo

circunscrita pela linha do divisor de água que delimita a microbacia (HORTON, 1945); perímetro (P) correspondente ao comprimento da linha do divisor de águas que circunda a microbacia (RODRIGUES et al., 2013); comprimento do rio principal (Cp), compreende ao comprimento total do segmento do rio principal, acompanhando sua sinuosidade, desde sua nascente até a foz (HORTON, 1945); comprimento da rede de drenagem total (Cr), corresponde ao comprimento do conjunto de todos os segmentos de rios que formam a rede de drenagem da microbacia hidrográfica (HORTON, 1945); maior comprimento (C), representa a medida do comprimento da linha que une a foz até o ponto extremo da microbacia, localizado sobre a linha do divisor topográfico, que segue a direção do vale principal (SCHUMM, 1956).

2.3.2 CARACTERÍSTICAS DO RELEVO DA MICROBACIA

As características do relevo estudadas foram a declividade média (D), sendo representada pela relação entre a somatória do comprimento das curvas de nível (ΣCn) multiplicada pela equidistância entre as cotas (ΔH) e dividida pela área (A) da microbacia (CAMPOS; SILVA; GARCIA, 2012), sendo representada pela Equação 1.

$$D = \frac{\sum Cn \times \Delta H}{A} x100 \qquad (1)$$

Tabela 1: Classes de declive

Classe de declividade (%)	Tipo de relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave Ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte Ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Fonte: Embrapa (2006)

De acordo com Rodrigues e Carvalho (2009) a altitude média (Hm) da microbacia é resultante da média aritmética entre os valores de maior altitude (MA) e menor altitude (mA), expressa pela equação 2.

$$Hm = \frac{MA + mA}{2} \qquad (2)$$

Onde

Hm = altitude média (m)

MA = maior altitude (m)

mA = menor altitude (m).

A amplitude altimétrica (Ha) da microbacia, foi obtida pela diferença entre a maior altitude (MA) à montante e a menor altitude (mA) à jusante da microbacia (RODRIGUES et al., 2013), calculada conforme a equação 3.

$$Ha = MA - mA \qquad (3)$$

Onde

Ha = amplitude altimétrica (m)

MA = maior altitude (m)

mA = menor altitude (m).

O parâmetro razão de relevo (Rr) é obtido pela relação entre a amplitude altimétrica (Ha) e o maior comprimento (C), que corresponde à direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas (SCHUMM, 1956), conforme a Equação 4.

$$Rr = \frac{Ha}{C} \qquad (4)$$

Onde

Rr = razão de relevo

Ha = amplitude altimétrica (m)

C = maior comprimento (m).

Desta forma, quanto maior a razão relevo, maior será a declividade geral da bacia, consequentemente, maior será a velocidade da água escoar no sentido de

seu comprimento (POLLO et al., 2012), ocasionando uma menor relação infiltração-deflúvio, provocando maior risco de erosões. Piedade (1980) utilizou os seguintes valores para quantificar a razão de relevo: baixa entre 0,00 a 0,10; média de 0,11 a 0,30 e alta entre 0,31 a 0,60.

De acordo com Rocha (1991), o coeficiente de rugosidade (RN) é dado pelo produto entre a densidade de drenagem (Dd) e declividade média (D), expresso pela Equação 5.

$$Rn = Dd \times D \qquad (5)$$

Onde

RN = coeficiente de rugosidade

Dd = densidade de drenagem (km/km²)

D% = declividade média (%).

Com isso o coeficiente de rugosidade torna-se um parâmetro que direciona o uso potencial das terras rurais em bacias hidrográficas, determinando o potencial de uso do solo, para atividades de agricultura, pecuária, silvicultura, reflorestamento ou preservação permanente (SIQUEIRA et al., 2012).

Para facilitar os padrões de interpretação do coeficiente de rugosidade, considerou-se a classificação apresentada por Rocha e Kurtz (2001), conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Classes de usos dos solos de acordo com o coeficiente de rugosidade

Coeficiente de rugosidade	Classe	Propensão da terra
1,09 - 10,63	A	Agriculura
10,43 - 20,18	B	Pastagens
20,19 - 29,73	C	Pastagens/Reflorestamento
29,74 - 39,28	D	Reflorestamento

Fonte: Adaptado de Rocha e Kurtz (2001)

2.3.3 CARACTERÍSTICAS RELACIONADOS À FORMA DA MICROBACIA

A forma é uma das características físicas mais difíceis de ser expressas em termos quantitativos. A forma do sistema de drenagem pode ser influenciada por

algumas características da bacia, como a geologia, que pode operar sobre os processos hidrológicos (LIMA, 2008).

Para definição de alguns índices se torna necessário associar a forma de uma bacia com algumas figuras geométricas conhecidas. Assim, o coeficiente de compacidade e o índice de circularidade compara uma bacia a um círculo, enquanto que o fator de forma compara a um retângulo (NARDINI et al., 2013).

Horton (1945) propôs o fator de forma (Ff) pela razão entre a área da microbacia (A) e o maior comprimento (C) elevado ao quadrado, conforme a Equação 6.

$$Ff = \frac{A}{C^2} \qquad (6)$$

Onde

Ff = fator de forma

A = área da bacia (km²)

C = maior comprimento (km).

O índice de circularidade (Ic), proposto por Miller (1953), correlaciona a razão entre a área da microbacia (A) pelo perímetro do divisor topográfico (P) ao quadrado, multiplicado pelo coeficiente da Equação (12,57), expresso pela Equação 7.

$$Ic = 12{,}57 \times \frac{A}{P^2} \qquad (7)$$

Onde

Ic = índice de circularidade

A = área da microbacia (km²)

P = perímetro do divisor topográfico (km).

O coeficiente de compacidade (Kc), correlaciona a razão do perímetro do divisor topográfico (P) pela raiz quadrada da área da microbacia (A), multiplicado pelo coeficiente da Equação (0,28) (TAGLIARINI et al., 2015), conforme a Equação 8.

$$Kc = 0{,}28 \times \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) \qquad (8)$$

Onde

Kc = coeficiente de compacidade

P = perímetro do divisor topográfico (km)

A = área da microbacia (km²).

Para melhor interpretação dos valores obtidos, observou-se que a partir da Tabela 3, quanto mais próximo de 1,00 for o fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc), mais arredondada será o formato da bacia hidrográfica, promovendo maiores chances de sofrer enchentes. Para os valores correspondentes ao coeficiente de compacidade (Kc) superior a 1,70 a microbacia irá apresentar uma tendência à conservação ambiental.

Tabela 3: Valores, formato e interpretação do fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc)

Ff	Ic	Kc	Formato	Interpretação ambiental
1,00 a 0,75	1,00 a 0,80	1,00 a 1,25	Redonda	Alta tendência a enchentes
0,75 a 0,50	0,80 a 0,60	1,25 a 1,50	Ovalada	Tendência mediana a enchentes
0,50 a 0,30	0,60 a 0,40	1,50 a 1,70	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
< 0,30	< 0,40	> 1,70	Comprida	Tendência a conservação

Fonte: Adaptado de Villela e Mattos (1975)

2.3.4 RELACIONADOS À DRENAGEM DA MICROBACIA

Considerada um parâmetro físico fundamental, a densidade de drenagem (Dd) é expressa através da relação entre o comprimento total da rede de drenagem (Cr) e a área da microbacia (A), proposto por Horton (1945), conforme a Equação 9.

$$Dd = \frac{Cr}{A} \qquad (9)$$

Onde

Dd = densidade de drenagem (km/km²)

Cr = comprimento da drenagem (km)

A = área da bacia (km²).

Os valores obtidos para a densidade de drenagem podem ser resultantes da influência da geologia, topografia, solo e vegetação da bacia hidrográfica, refletindo no tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia (LIMA, 2008).

França (1968) classificou a densidade de drenagem em: baixa (< 1,5 km/km²), média (1,5 a 2,5 km/km²), alta (2,5 a 3,0 km/km²) e super alta (> 3,0 km/km²), de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4: Valores, classificação e interpretação dos resultados da densidade de drenagem

Dd (km/km²)	**Classificação**	**Interpretação ambiental**
< 1,5	Baixa	Baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,5 a 2,5	Média	Tendência mediana de escoamento superficial
2,5 a 3,0	Alta	Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas
> 3,0	Super alta	Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosões

Fonte: Os autores

Segundo Nardini et al. (2013) o coeficiente de manutenção dos canais (Cm) mostra a área de drenagem necessária em quilômetros quadrados, para sustentar um quilômetro linear de canal. Desta maneira, a constante limita a área mínima necessária para o desenvolvimento e manutenção de um canal de escoamento permanente (TAGLIARINI et al., 2015). Expresso pela Equação 10.

$$Cm = \frac{1}{Dd \times 100} \times 100 \qquad (10)$$

Onde

Cm = coeficiente de manutenção (km/km²)

Dd = densidade de drenagem (km/km²).

De acordo com Lana, Alves e Castro (2001) quanto menor for o resultado obtido para o coeficiente de manutenção, de uma maneira geral, maior é a riqueza da microbacia em cursos d'água.

A extensão do percurso superficial da água de enxurrada representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente, de acordo com (CHRISTOFOLETTI, 1969), expresso na Equação 11.

$$EPS = \left(1/2 \times Dd\right) \times 1000 \qquad (11)$$

Onde

EPS = extensão do percurso superficial (m)

Dd = densidade de drenagem (km/km²).

O Índice de sinuosidade do rio (Is) é uma relação entre o comprimento do rio principal (Cp) com a distância vetorial (dv) entre dois extremos do canal principal (RODRIGUES et al., 2013), de acordo com a Equação 12.

$$Is = \left(\frac{Cp}{dv}\right) \qquad (12)$$

Onde

Is = índice de sinuosidade

Cp = comprimento do rio principal (km)

dv = distância vetorial (km).

Segundo Freitas (1952), o índice de sinuosidade indica os formatos dos canais, sendo que valores < 1,0 = canais retilíneos e valores > 2,0 = canais sinuosos. Sendo assim, pode ser considerado um fator controlador da velocidade de fluxo, pois quanto maior for a sinuosidade, maior a dificuldade encontrada pelo canal no seu caminho à foz, portanto menor a velocidade (VALLE JUNIOR, 2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do estudo dos parâmetros morfométricos da microbacia Córrego Água do Brejão, foi possível obter os resultados relacionados aos parâmetros dimensionais, forma, relevo e drenagem da microbacia.

Os parâmetros dimensionais foram considerados de extrema relevância para o estudo da morfometria, pois através desses dados é possível o cálculo para os demais parâmetros morfométricos, que permite uma correta interpretação, caracterização e análises das tendências à degradação ou conservação ambiental de microbacias (RODRIGUES et al., 2013).

De acordo com a análise dos parâmetros dimensionais, seguem os valores, Tabela 5:

Tabela 5: Parâmetros dimensionais da microbacia Córrego Água do Brejão

Características dimensionais da microbacia						
A	P	Cp	Cr	C	dv	Cn
19,29	18,6	5,67	18,43	6	6	96,34

A – área (km²); P – perímetro (km); Cp – comprimento do rio principal (km); Cr – comprimento da rede de drenagem total (km); C – maior comprimento (km); dv – distância vetorial (km); Cn – comprimento das curvas de nível (km).
Fonte: Os autores

A microbacia possui área (A) de 19,29 km², com perímetro (P) de 18,60 km, comprimento do rio principal (Cp) de 5,67 km e comprimento da rede de drenagem (Cr) de 18,43 km.

De acordo com a Tabela 6 têm-se as características do relevo da microbacia.

Tabela 6: Características do relevo da microbacia Córrego Água do Brejão

Características relacionas ao relevo						
D	Ha	Hm	Rr	RN	MA	mA
10	164,00	542	0,03	9,54	624	460

D – declividade média (%); Ha – amplitude altimétrica (m); Hm – altitude média (m); Rr – razão relevo; RN – coeficiente de rugosidade; MA – maior altitude (m); mA – menor altitude (m).
Fonte: Os autores

Analisando os valores referentes às características do relevo, a declividade média (D) é de 10%, sendo classificada segundo as classes de declive da Embrapa (2006) como um tipo de relevo suave ondulado. Essa declividade permite um escoamento superficial de menor velocidade, consequentemente, a infiltração das águas da chuva será maior, ocasionando um sistema hidrológico mais regulado dentro da bacia (TAGLIARINI et al., 2015).

A razão de relevo (Rr) identificada foi de 0,03, sendo classificada segundo Piedade (1980) como uma microbacia com baixa Rr. Esse parâmetro permite indicar uma baixa declividade da microbacia, o que ocasiona menor velocidade de escoamento superficial, permitindo um menor risco de erosões.

O coeficiente de rugosidade (RN) encontrado foi de 9,54, permitindo classificar o solo da microbacia como classe A, indicando solos apropriados para atividades de agricultura, de acordo com a classificação proposta por Rocha e Kurtz (2001).

Na Tabela 7, observam-se as características relacionadas ao formato da microbacia.

Tabela 7: Características relacionadas ao formato da microbacia Córrego Água do Brejão

Características relacionadas à forma da microbacia		
Ff	Ic	Kc
0,54	1,19	0,7

Ff – fator de forma; Kc – coeficiente de compacidade; Ic – índice de circularidade.
Fonte: Os autores

Os valores relacionados à forma foram interpretados de acordo com a classificação proposta por Villela e Mattos (1975), assim, através do fator de forma (Ff) e índice de circularidade (Ic), a microbacia pode ser considerada como ovalada, indicando uma tendência mediana a enchentes. Para coeficiente de compacidade

(Kc), a microbacia é considerado redonda, o que resulta uma alta tendência a enchentes. Desta maneira, podemos considerar o formato de ovaladas e redondas, apontando uma tendência a enchentes de média à alta.

Por meio da Tabela 8, visualiza-se as características relacionadas à drenagem da microbacia.

Tabela 8: Características relacionadas à drenagem da microbacia Córrego Água do Brejão

Características relacionadas a drenagem da microbacia			
Dd	EPS	Is	Cm
0,96	477,71	0,95	1,05

Dd – densidade de drenagem (km/km²); EPS – extensão do percurso superficial (m); Is – índice de sinuosidade; Cm – coeficiente de manutenção (km/km²).
Fonte: Os autores

As características relacionadas à drenagem da microbacia mostra que a densidade de drenagem (Dd) foi de 0,96 km/km², sendo classificada de acordo com França (1968) como baixa, indicando um baixo escoamento superficial com alta infiltração, o que possibilita inferir que o solo da microbacia é permeável, com relevo suave, ocasionando uma melhor infiltração e menor escoamento superficial.

O valor da extensão de percurso superficial (EPS) indica que as águas das enxurradas percorrem 477,71 m antes de encontrar um canal permanente.

O coeficiente de manutenção (Cm) apresentou o valor de 1,05 km/km², ou seja, a área necessária para a manutenção dos canais presentes na bacia, o que segundo Lana, Alves e Castro (2001) é considerado de maneira geral um coeficiente alto, indicando baixa riqueza da microbacia em cursos d'água.

O valor encontrado para o índice de sinuosidade (Is) foi de 0,95, segundo Freitas (1952) indica o formato de canais retilíneos, gerando uma maior velocidade de fluxo pelo canal no seu caminho à foz.

4. CONCLUSÃO

As características relacionadas à forma da microbacia, sendo o fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc), apontou um formato de ovalada e redonda, indicando uma tendência a enchentes de média à alta.

De acordo com as características do relevo, a microbacia possui uma declividade média considerada suave a ondulado, o que representa uma baixa declividade, ocasionando menor velocidade de escoamento superficial, permitindo um menor risco de erosão. O coeficiente de rugosidade (RN) identificou solos apropriados para agricultura, permitindo classificar o solo da microbacia como classe A.

Para características relacionadas a drenagem da microbacia, os valores obtidos para a densidade de drenagem (Dd), confirmou o baixo escoamento superficial da microbacia. A extensão do percurso superficial (EPS) de 477,71m mostrou a distância percorrida pela água das enxurradas antes de encontrar um canal permanente. O índice de sinuosidade (Is) indicou canais retilíneos, o que pode acarretar em uma maior velocidade de fluxo pelo canal no seu caminho à foz.

Desta forma, através das características morfométricas obtidas, foi possível apresentar a situação atual da microbacia, o que pode induzir em um melhor planejamento em relação à conservação ambiental e plano de monitoramento.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, S.; SILVA, C. O.; GARCIA, Y. M. Avaliação Morfométrica da Microbacia do Ribeirão Benfica - Piquete (SP). **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 8, n. 2, p. 407-421, 2012.

CAMPOS, S. Avaliação morfométrica da microbacia do córrego do Bebedouro, Planalto – SP. **Energia na Agricultura,** Botucatu, v. 30, n. 4, p. 402-410, dez. 2015.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas eClimáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. CEPAGRI, 2017. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_026.html. Acesso em: 25 ago. 2017.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfologica**, Campinas, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

FREITAS, R. O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 11, p. 53-57, 1952.

HORTON, R. E. Erosinal development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin,** Colorado, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. 122 Cury et al./Caracterização morfométrica.../v34n1p113-123 (2019)

LANA, C. E.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio Tanque, MG - Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. 121-126, 2001.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2008.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986. Texto básico para a disciplina Manejo de Bacias Hidrográficas.

NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S. BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; GOMES, L. N. Análise Morfométrica e Simulação das Áreas de Preservação Permanente de uma Microbacia Hidrográfica. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013.

PIEDADE, G. C. R. **Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP.** 1980. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1980.

PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M.; POLITANO, W.; GALBIATTI, J. A. Morfometria de microbacias do córrego rico, afluente do rio Mogi-Guaçu, estado de São Paulo, Brasil. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 34, n. 4, p.669-676, 2010.

POLLO, R. A.; BARROS, B. S.X; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; RODRIGUES, V. A. Caracterización morfométrica de la cuenca del Arroyo Agua da Lucia, Botucatu-SP. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 163-174, 2012.

ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1991.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas.** 4. ed. Santa Maria: UFSM/CCR, 2001.

RODRIGUES, V. A.; CARVALHO, W. A. Morfometria da Microbacia do Córrego Água Limpa. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 39, n. 39, p. 15-24, 2009.

RODRIGUES, V. A.; CARDOSO, L. G.; POLLO, R. A.; SCORZONI, D.; PISSARRA, T. C.; JUNIOR, R. F. V. Análise morfométrica da microbacia do ribeirão das Araras – SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal,** Garça, v. 21, n. 1, p. 25-37, fev. 2013.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Ambory, New Jersey. **Bulletin of the Geological Society of America,** Colorado, v. 67, p. 597-646, 1956.

SILVA, L. **Balanço de Radiação e Caracterização Geomorfométrica a Bacia de Drenagem do açude Soledade, usando Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.** 2009. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.

SILVA, L.; LIMA, E. R.V.; ALMEIDA, H. A.; FILHO, J. F. C. Caracterização Geomorfométrica e Mapeamento dos Conflitos de Uso na Bacia de Drenagem do Açude Soledade. **Revista Brasileira de Geografia Física,** Recife, v. 3, n. 3, p. 112-122, abr. 2010. Cury et al./Caracterização morfométrica.../v34n1p113-123 (2019) 123

SIQUEIRA, H. E.; TIBERY, L. R.; GUIDOLINI, J. F.; JUNIOR, R. F. V.; RODRIGUES, V. A. Análise morfométrica e definição do potencial de uso do solo da microbacia do Rio Veríssimo, Veríssimo - MG. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 2236- 2248, 2012.

STRAHLER, A. N. Quantitative analyses of watershed geomorphology. **Transactions of American Geophysical Union**, Washington, v. 38, p. 913-920, 1957.
TAGLIARINI, F. S. N.; FERNANDES, G. C. RODRIGUES, V. A.; GARCIA, Y. M.;

TONELLO, K. C. **Análise Hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, 1997.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba.** 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

CAPÍTULO 09

GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA DO CÓRREGO ESTÂNCIA SANTA RITA – BOTUCATU, SP

Rafael Dorini Oliveira
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: raydorini@fca.unesp.br

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Yara Manfrin Garcia
Faculdade de Ciências e Engenharias – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: yaramanfrin@hotmail.br

Gabriel Rondina Pupo da Silveira
Faculdade de Ciências e Engenharias – UNESP – Tupã, SP
E-mail: gabrielrondina@hotmail.br

Eduardo Nogueira
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: edu.nog@gmail.com

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo estudar a morfometria da microbacia do córrego Estância Santa Rita, localizado no município de Botucatu (SP), visando a preservação e conservação ambiental por meio do apoio de ferramentas de geoprocessamento - o Sistema de Informação Geográfica - SIG IDRISI Selva e o *software* CartaLinx. A microbacia apresenta uma área de 953,4 ha e está localizada entre os paralelos 22º 55' 16" a 22º 57' 33" de latitude S e 48º 22' 40" a 48º 25' de longitude W Gr. Para a caracterização morfométrica utilizou-se a carta planialtimétrica de Botucatu, editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, de 1968, em escala 1:50000 e o SIG Idrisi Selva para o georreferenciamento, vetorização da delimitação do limite da microbacia, da extração da rede de drenagem e das curvas de nível. Após esta etapa, ainda no SIG fez-se a quantificação dos parâmetros morfométricos para posterior cálculo e análise, bem como a hierarquia dos canais. Os resultados mostraram que os baixos valores da densidade de drenagem, associados à presença de rochas permeáveis, permitem a infiltração da água no solo, diminuindo o escoamento superficial e o risco de erosão e da degradação ambiental, bem como o baixo valor do fator de forma amparado pelo índice de circularidade indica que a microbacia tende a ser mais alongada com menor susceptibilidade à ocorrência de enchentes mais acentuadas. O parâmetro ambiental coeficiente de rugosidade permitiu classificar a microbacia para vocação com floresta e reflorestamento.

Palavras-chave: morfometria, hidrografia e SIG.

Abstract: This work aimed to morphometric evaluate the Santa Rita Watershed - Botucatu (SP) using the Geographic Information System (GIS) - IDRISI Selva, regarding its preservation and use. The watershed has an area of 953.4 hectares and is located between parallels 22º 55 '16" and 22º 57' 33" latitude S and 48º 22 '40" and 48º 25' of longitude WGr. For the morphometric characterization, planialtimetric letter of Botucatu, published by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), 1968, scale 1:50000 was used in the GIS Idrisi Selva to georeferencing, vectorization of watershed boundary delimitation and extraction of drainage network and contour lines. After this step, the quantification of morphometric parameters was done for subsequent calculation and analysis, as well as the hierarchy of channels. The results showed that low density values of drainage, associated with the presence of permeable rocks, allow water infiltration into the soil, reducing runoff and the risk of erosion and environmental degradation. In addition, the low value of the factor form supported by the circularity index indicates that the watershed tends to be more elongated with less susceptibility to flood. The environmental parameter coefficient of roughness allowed to classify the watershed able to forest and reforestation use.

Keywords: Morphometry, hydrology and GIS.

1. INTRODUÇÃO

Bacia Hidrográfica, no Brasil, é a unidade física adotada na legislação para o gerenciamento de recursos hídricos que constitui um princípio básico para a implementação da gestão dos recursos hídricos, sendo que tal denominação também é utilizada em outros países (GARCIA, 2011).

Para Barrella et al. (2001), bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

Quando se refere a bacias hidrográficas pode-se afirmar que existem diversos parâmetros para serem analisados destacando assim, os morfométricos.

O objetivo da morfometria é estabelecer relações entre os parâmetros mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os seus condicionantes, através de índices numéricos que classificam a rede de drenagem. Tais índices numéricos são de fundamental importância na caracterização das potencialidades e áreas de uso de uma bacia, permitindo o seu manejo adequado com diagnósticos e análises de riscos de degradação dos recursos ambientais. Os índices possibilitam, ainda, avaliar o grau de susceptibilidade à erosão da área compreendida e o comportamento da bacia (SIQUEIRA et al., 2012).

A bacia hidrográfica e sua caracterização morfométrica é uma ferramenta fundamental no diagnóstico da degradação ambiental, delimitação da zona ripária, programação e manejo de microbacias (MOREIRA; RODRIGUES, 2010), pois a sua caracterização possibilita descrever a formação geomorfológica da paisagem em sua variabilidade topográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980), possuindo um papel expressivo no condicionamento de respostas ligadas à erosão hídrica, formado após eventos pluviométricos relevantes (ARRAES et al., 2010).

Para Rodrigues, Pissarra e Campos (2008), conforme as características físicas da microbacia são possíveis observar e analisar atividades, tais como o ciclo hidrológico, que influencia diretamente nos aspectos associados com a infiltração, a evapotranspiração e o escoamento superficial e subsuperficial.

Para auxiliar tais pesquisas, tem-se o geoprocessamento que por meio de seu uso é possível desenvolver trabalhos mais detalhados sobre as microbacias hidrográficas. Pina e Santos (2000) referem-se ao geoprocessamento como um termo que engloba diversas tecnologias para coleta e tratamento de informações geográficas, por meio de programas computacionais. Dentre essas tecnologias, se destacam: o sensoriamento remoto, a digitalização de dados, a automação de tarefas cartográficas, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global - GPS e de Sistemas de Informação Geográfica - SIG.

Segundo Teixeira et al. (1992), o SIG utiliza uma base de dados computadorizada que contém informação espacial (aspectos no meio natural como relevo, solo, clima, vegetação, hidrologia, etc., todos esses dados possibilitam um gerenciamento de dados e informações com maior precisão geográfica. Também temos os aspectos sociais, econômicos e políticos, que concedem uma divisão temática em subsistemas que integram um SIG, sendo esses componentes os atributos), sobre a qual atua uma série de operadores espaciais (conjunto de operações algébricas, booleanas e geométricas, utilizadas no cruzamento de dados pelo SIG).

A importância do SIG no estudo da microbacia hidrográfica é de promover melhores condições para análise morfométrica da bacia, sendo usada como ferramenta para analisar e determinar a evolução espacial, temporal e geográfica de uma determinada área.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar a morfometria da microbacia do córrego Estância Santa Rita, localizado no município de Botucatu (SP), por meio da utilização do SIG Idrisi e do *software* CartaLinx, relacionando características morfométricas com a tendência de conservação ambiental da microbacia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A microbacia do córrego Estância Santa Rita localiza-se na porção sul do município de Botucatu-SP, entre as coordenadas geográficas 48º 25” a 48º 22’ 40” de longitude WGr. e 22º 55’ 16” a 22º 57’ 33” de latitude S e possui uma área de

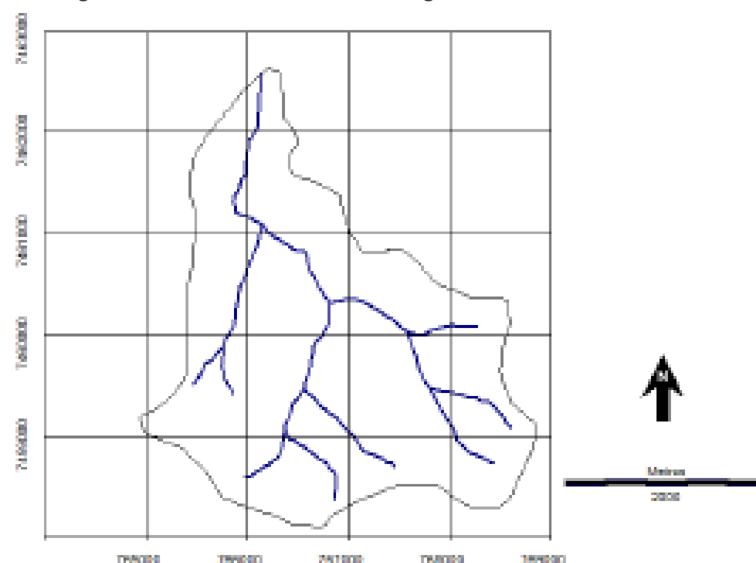
953,4ha. A microbacia é um afluente do rio Capivara, que forma uma sub-bacia do rio Tietê, o mais importante rio do Estado de São Paulo.

O clima da região é do tipo Cwa conforme classificação de Köppen sendo: tropical de altitude, com três meses mais secos e frios (junho/julho/agosto), chuvas predominantes no verão, temperatura média anual de 20,7°C e precipitação média anual de 1358,6 mm, com altitude de 840 metros (CEPAGRI, 2014).

3. MENSURAÇÃO DAS VARIÁVEIS

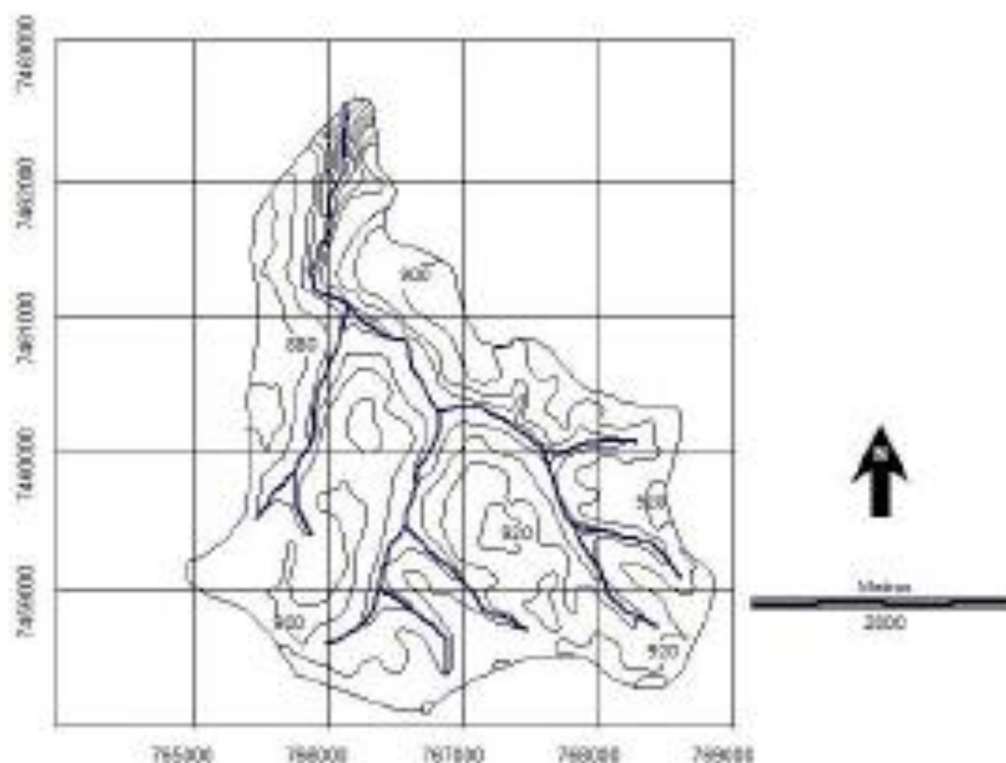
Na caracterização morfométrica da área foi utilizada a carta planialtimétrica do IBGE (1969), em escala 1:50.000, folha Botucatu (SF-22-R-IV-3), com curvas de nível de 20 em 20 metros, para extração da rede de drenagem (Figura 1) e da planialtimetria (Figura 2), bem como as fotografias aéreas coloridas de Botucatu - SP de 2000, em escala nominal aproximada 1:30000 para atualização da rede de drenagem e o curvímetro digital, modelo MR 380, para avaliação da rede drenagem.

Figura 1: Hidrografia da microbacia do córrego Estância Santa Rita – Botucatu (SP)



Fonte: Os autores

Figura 2: Planialtimetria da microbacia do córrego Estância Santa Rita – Botucatu (SP)



Fonte: Os autores

Para a vetorização das curvas de nível, divisor de águas da rede de drenagem, foi usado o SIG Idrisi Selva e o software CartaLinx. Elaborou-se também a análise morfométrica dos canais, de acordo com Strahler (1952).

Segundo Oliveira e Ferreira (2001), para a determinação desses parâmetros foi seguida a metodologia © para o cálculo do maior comprimento, (CP), do comprimento do curso principal, (CR) do comprimento total da rede, (P) do perímetro e (A) da área, todos os dados foram obtidos através do SIG Idrisi Selva, para análise dos dados gerados.

Os canais se referem a uma classificação sobre o grau de ramificações e/ou bifurcações atuais em uma bacia hidrográfica. A classificação de arrumação dos cursos mais usada é a proposta por Horton (1945) e modificada por Strahler (1957).

4. VARIÁVEIS E/OU PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Para a composição e padrão da rede de drenagem foram analisados os seguintes parâmetros: densidade hidrográfica (Dh), Declividade média (H), Coeficiente de rugosidade (CR), Densidade de drenagem (Dd), Índice de

circularidade (IC), Coeficiente de Compacidade (Kc), Fator de forma (Ff) e Razão de Relevo.

4.1 DENSIDADE HIDROGRÁFICA (Dh)

A definição da densidade hidrográfica é a relação que existe entre o número de rios ou canais e a área da bacia hidrográfica. Essa relação é expressa pela Equação 1:

$$Dh = N \cdot A^{-1} \quad (1)$$

Onde:

Dh - Densidade hidrográfica em km^{-2}

N - Número total de rios

A - Área da bacia hidrográfica em km^2

4.2 DECLIVIDADE MÉDIA

A declividade média da bacia é responsável, pelas características físicas, sendo elas, os picos de enchente e de infiltração de água, trazendo assim o seguimento de maior ou menor grau de erosão, agregado à cobertura vegetal, tipo de solo e tipo de uso da terra (ROCHA; SILVA, 2001). A declividade média foi encontrada a partir da Equação 2 e classificada segundo Lepsch et al. (1991) (Quadro 1):

$$H = (D \cdot L)\ 100/A \quad (2)$$

Onde:

H - Declividade média em % D - Distância entre as curvas de nível em m

L - Comprimento total das curvas de nível em m

A - Área da microbacia em m^2

Tabela 1: Classe de Declividade

Classes de Declividade	(%) Relevo
0 – 3	Plano
3 – 6	Suave ondulado
6 – 12	Ondulado
12 – 20	Forte ondulado
20 – 40	Montanhoso
➢ 40	Escarpado

Fonte: Os autores

4.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (CR)

Segundo Rocha e Silva (2001) a classificação para o coeficiente de Rugosidade deve ser feito por meio da Equação 3:

$$CR = Dd \cdot H \tag{3}$$

Onde:

CR = coeficiente de rugosidade

Dd = densidade de drenagem

H = declividade média

Esta é uma característica que direciona o uso potencial das terras rurais, dependendo da atividade relacionada – agricultura, pecuária, silvicultura com reflorestamento ou preservação permanente. As classes de uso da terra podem ser classificadas em: A (menor valor de CR) – terras apropriadas à agricultura; B – terras apropriadas à pecuária; C – terras apropriadas à pecuária e reflorestamento e; D (maior valor de CR) – terras apropriadas para florestas e reflorestamento.

De acordo com Rocha e Silva (2001), essas classes (A, B, C, e D) foram encontradas e caracterizadas através do cálculo da amplitude, que é a diferença entre o maior e o menor valor de CR e obtido para as bacias de terceira ordem de ramificação e o intervalo do domínio-amplitude dividida por 4 - que é o número da classe indicada por Smith (1950).

4.4 DENSIDADE DE DRENAGEM (Dd)

A definição de densidade de drenagem é a correlação do comprimento total dos rios com a área da bacia, sendo encontrada a partir da Equação 4.

$$Dd= l \,.\, A\text{-}1 \qquad (4)$$

Onde:

Dd - Densidade de drenagem em km/km2

L - Comprimento total dos rios ou canais em km

A - Área da bacia em km2

A densidade de drenagem é classificada em três classes de valores (Quadro 2).

Tabela 2: Classes de interpretação para os valores da densidade de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1969)

Classes de valores (km^2)	Densidade de drenagem
< 7,5	Baixa
7,5 a 10,0	Média
➤ 10,0	Alta

Fonte: Os autores

4.5 ÍNDICE DE CIRCULARIDADE (IC)

O índice de circularidade ou índice de forma demonstra a relação existente entre o perímetro e a área da bacia. O número calculado independe da área considerada, dependendo apenas da forma da bacia (SILVA et al., 2004). O índice de circularidade foi determinado pela seguinte Equação 5:

$$IC= 12{,}57\ (A\ /\ P2) \qquad (5)$$

Onde:

IC - Índice de circularidade

A - Área de drenagem em m2

P - Perímetro em m

4.6 COEFICIENTE DE COMPACIDADE (Kc)

Pode ser definido como sendo a relação entre o perímetro da microbacia e o perímetro de uma circunferência de um círculo de área igual da microbacia. Segundo Villela e Mattos (1975), é um número adimensional que varia com o aspecto da microbacia, independentemente de seu tamanho. Se a bacia for acidentada, maior será o coeficiente de compacidade e menos sujeita à enchentes, sendo: Kc = 1 – 1,25 (redondas para ovaladas); 1,25 – 1,50 (ovaladas) e 1,50 – 1,70 (blongas).

Na determinação do Kc utilizou-se a Equação 6:

$$Kc = 0,28 (P : A1/2) \qquad (6)$$

Onde:

Kc - Coeficiente de compacidade

P - Perímetro em metros

A - Área de drenagem em m^2

4.7 FATOR DE FORMA (Ff)

O coeficiente de compacidade, o índice de circularidade compara a microbacia a um círculo e o fator de forma a compara a um retângulo. A forma da microbacia e a configuração do sistema de drenagem estão ligadas a estrutura geológica do terreno. O fator de forma (F) pode ser determinado pela Equação 7:

$$F = A/L2 \ (7)$$

Onde:

F - Fator de forma

A - A área de drenagem em m2

L - O comprimento do eixo da bacia em m

4.8 RAZÃO DE RELEVO

A razão de relevo é a referência entre a diferença de altitude dos pontos extremos da bacia e seu comprimento (SCHUMM, 1956). Para Carvalho (1981), a razão de relevo demonstra que, quanto maiores os valores, mais acidentado será o

relevo na região. Piedade (1980) usou os seguintes valores para quantificar a razão de relevo: baixa - 0,00 a 0,10; média - 0,11 a 0,30 e alta - 0,31 a 0,60.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a análise realizada, os resultados obtidos para a microbacia do córrego Estância Santa Rita (Quadro 1 e Figuras 1 e 2) apresenta que a área é de 953,4ha, o perímetro de 14km e o fluxo de água se dá na direção SW-NE da microbacia, com um comprimento de 10 km. O comprimento total da rede de drenagem de 13 km, demonstra que a microbacia apresenta-se com alguns canais de drenagem. Segundo Rodrigues et al. (2011), o formato da bacia hidrográfica é caracterizado fisicamente por parâmetros que se relacionam com formas geométricas, como o fator de forma que relaciona a um retângulo e o coeficiente de compacidade que relaciona a um círculo.

A forma é um parâmetro importante na indicação do tempo de concentração, que é o tempo necessário para que toda a microbacia contribua na saída da água após uma precipitação, pois quanto maior o tempo de concentração menor será a vazão máxima de enchentes.

O baixo valor do fator de forma (0,44) define uma bacia mais alongada do que circular, fato amparado pelo distanciamento do coeficiente de compacidade (4,53). E o índice de circularidade (0,61) obtido para a microbacia do córrego Estância Santa Rita indica que a mesma possui menor tendência a ter a forma circular e menor susceptibilidade a enchentes.

Desta forma, por meio dos resultados obtidos desses parâmetros percebe-se que a microbacia não possui formato circular, direcionando-se para a forma alongada, elíptica (ROCHA; SILVA, 2001) e indica menor risco de enchentes sazonais, bem como o valor do índice de circularidade de 0,61 permitiu confirmar também que a microbacia não possui forma próxima à circular, isto é, apresenta forma alongada. Com os dados da área de uma microbacia é possível verificar que ela tem influência na quantidade de água produzida como deflúvio. A forma e o relevo atuam sobre a taxa e o regime desta na formação de água e na taxa de sedimentação.

O Quadro 3, a seguir, apresenta toda a análise e avaliação morfométrica da bacia hidrográfica do córrego Estância Santa Rita, Botucatu-SP, e por meio desses dados é possível ter uma visão, mais detalhada de suas características físicas.

Os valores da Densidade de drenagem, Frequência de rios e Razão, certamente estão associados à presença de rochas permeáveis (TONELLO et al., 2006), pois facilita a infiltração da água no solo reduzindo o escoamento superficial e o risco de erosão e degradação ambiental, pois quanto maiores esses valores mais intenso é o processo de erosividade do solo (RODRIGUES et al., 2008).

As características da rede de drenagem da microbacia por meio da densidade de drenagem foi de 1,36 km/km2 e a densidade hidrográfica de 1,57 km/km2. A densidade de drenagem da microbacia é baixa, pois o valor é menor que 7,5km/km2, para Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5km/km², em microbacias com drenagem pobre, 3,5km/km2 ou mais, em microbacias excepcionalmente bem drenadas, mostrando que a microbacia do córrego Estância Santa Rita apresenta baixa drenagem, determinando que esses valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação Christofoletti (1969).

Tabela 3: Características morfométricas da microbacia do córrego Estância Santa Rita, Botucatu-SP

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	UNIDADES	RESULTADOS
PARÂMETROS DIMENSIONAIS DA MICROBACIA		
Área (A)	Km²	9.534
Perímetro (P)	Km	14
Comprimento do Rio Principal (C)	Km	10
Comprimento da rede de drenagem total (Cr)	Km	13
Comprimento das curvas de nível (Cn)	Km	64,6
CARACTERÍSTICAS DO RELEVO		
Coeficiente de compacidade (Kc)	---	4,53
Fator forma (Ff)	---	0,44
Índice de circularidade (Ic)	---	0,61
Declividade média (D)	%	13,55
Altitude média (MA)	m	918,5
Maior altitude (Ma)	m	938
Menor altitude (mA)	m	899
Amplitude altimétrica (H)	m	39
Coeficiente de Rugosidade (CR)	---	18,428
Razão de Relevo	---	8,38
Razão de Relevo Relativo	---	2,78
Razão de Textura	---	0,92
PADRÕES DE DRENAGEM DA MICROBACIA		
Ordem da microbacia (W)	---	3ª

Densidade de drenagem	(Km/Km²)	1,36
(Dd)		
Coeficiente de Manutenção (Cm)	(m/m²)	735
Extensão do Percurso Superficial (Eps)	m	0,36
Gradiente de Canais (Gc)	%	0,93
Índice de Sinuosidade (Is)	-	2,15
Frequência de Rios (Fr)	-	1,57
Densidade Hidrográfica	(Km/Km²)	1,57

Fonte: Os autores

Segundo Silva et al. (2009) a sinuosidade é um dos elementos controladores da velocidade de escoamento do canal, pois quanto mais próximo da unidade, demonstra que o rio segue diretamente a linha do talvegue, ou seja, apresenta-se com baixo grau de sinuosidade.

O percurso superficial e o coeficiente de manutenção apresentaram valores médios, confirmando a presença de solos permeáveis na microbacia.

Para Marques (1971) a declividade, a classificação e o mapeamento do terreno são elementos indispensáveis nos levantamentos de uso da terra, constituindo-se num elemento de suma importância no condicionamento de sua potencialidade de utilização.

Para Silva e Piedade (1993), a representação detalhada do relevo de uma área constituem-se em elementos indispensáveis para a programação das atividades agropastoris, à elaboração de projetos de engenharia, ao levantamento e conservação de solos, aos estudos hidrológicos, etc.

A declividade do terreno auxilia para o escoamento das águas das chuvas sendo que, quanto maior for o trecho em declive, menor será o escoamento das águas pela superfície e, consequentemente, maior será a possibilidade de erosão, vindo a concordar.

O relevo apresenta ligações diretas com as condições de profundidade do perfil, susceptibilidade à erosão, drenagem, etc. (POLITANO, 1978).

O mau uso da terra retrata-se na situação da pobreza regional, que gera danos que são agravados por causa do relevo acidentado, que trás empobrecimento contínuo por erosão dos solos pouco protegidos, e o assoreamento dos rios e reservatórios d’águas, conforme Mello Filho e Rocha (1994). O grau de erosão dos solos é função da declividade média, que apresenta maior ou menor velocidade de escoamento da água pluvial sobre a superfície, associada à cobertura vegetal, ao

tipo de solo e do tipo de uso da terra, adquirido para cada bacia, pode se concluir também que a variação na declividade pode implicar em variações do tipo de solo.

Segundo Chiarini e Donzeli (1973) o relevo de Botucatu-SP em sua maior parte pode ser classificado como forte ondulado, sendo impróprio para o cultivo de culturas anuais e indicado para a o uso de pastagens em eventual rotação com culturas anuais e podendo ser exploradas com culturas permanentes que protegem o solo (café, laranja, cana-de-açúcar, leguminosas como forma de adubação verde, etc.), pois são terras sujeitas à erosão, e a prática da conservação do solo é imprescindível. Portanto, algumas atividades agrícolas em áreas impróprias e de forma inadequada devem ser avaliadas como uma prática de risco, pois se as práticas conservacionistas não forem utilizadas nestes casos, as bacias sofrerão grandes perdas de solos por erosão, causando grandes impactos ambientais.

Segundo Moreira e Rodrigues (2010) a declividade quanto mais alta, apresenta relação direta com os processos erosivos devido à maior velocidade de escoamento superficial e menor infiltração das águas das chuvas, proporcionando alteração na regulagem do sistema hidrológico e produção de água na microbacia.

Para Rocha (1991) o coeficiente de rugosidade por ser um parâmetro que conduz o uso potencial da terra com relação às suas aptidões para agricultura, pecuária ou reflorestamento, mostra também a realidade de uma microbacia, apresentando uma contribuição simples, rápida e precisa ao planejamento, para melhor e mais justa exploração econômica, em função da vocação de suas terras, pois existe uma alta correlação entre o coeficiente de rugosidade e a capacidade de uso da terra, ao nível de 0,5% de erro.

O coeficiente de rugosidade é utilizado para diagnosticar as probabilidades de vir a ocorrer erosões. Desta forma, coeficiente de rugosidade de 18,428 permitiu classificar a microbacia do córrego Estância Santa Rita para vocação com uso por florestas e reflorestamento (Classe D).

Uma vez que os altos valores do coeficiente de rugosidade apresentam que estas têm maiores chances de sofrer os efeitos da erosão, dependente de medidas para prevenção e maior taxa de áreas cobertas pela vegetação.

6. CONCLUSÃO

A partir de uma política agrícola adequada e confiante é preciso de embasamento técnico e científico, com informações confiáveis e atualizadas sobre o grau de uso e utilização das terras e sobremaneira com o intuito de racionalizar e possibilitar o planejamento agrícola de determinada região, frente à grande extensão territorial do país e à diversidade de uso, relevo, clima e tipos de solos encontrados nas diversas regiões.

Através do presente trabalho foi possível uma análise mais completa sobre a bacia hidrográfica do córrego Estância Santa Rita visando planejamento e manejo integrado dos recursos hídricos da área, buscando manter a preservação e o controle do seu uso e recuperação ambiental.

Com base no presente estudo sobre a morfometria foi possível analisar que a mesma possui grandes chances de sofrer erosão. Desta forma, é necessário para futura conservação, a necessidade do reflorestamento com proteção vegetal nativa para proteção da microbacia hidrográfica.

A microbacia hidrográfica apresentou riscos de susceptibilidade à erosão e degradação ambiental, sendo essencial a manutenção da cobertura vegetal e as zonas ripárias para conservação dos serviços ambientais.

E por fim, pode-se afirmar que as técnicas de geoprocessamento, a exemplo do Sistema de Informação Geográfica é de extrema importância para a gestão e o planejamento de recursos hídricos, já que incrementam as análises e estudos ambientais.

REFERÊNCIAS

ARRAES, C. L.; PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M.; ZANATA, M.; CAMPOS, S. Morfometria dos compartimentos hidrológicos do Município de Jaboticabal, SP. **UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas,** Londrina, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2010.

BARRELLA, W.; PETRERE-JR., M.; SMITH, W. S.; MONTAG, L. F. A. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Org.). **Matas ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo/ Fapesp, 2001.

CARVALHO, W. A. **Relações entre relevos e solos da bacia do rio Capivara - município de Botucatu, SP**. 1981. 193 f. Tese (Livre-Docência), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CEPAGRI. Unicamp. **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura:** Clima dos municípios paulistas. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_563.html>. Acesso em: 27 nov. 2014.

CHIARINI, J. J.; DONZELLI, P. L. Levantamento por fotointerpretação das classes de capacidade de uso das terras do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Agronômico**, Campinas, n. 3, p. 1-29, 1973.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfologia**, Campinas, v. 9, n. 18, p. 35-64, 1969.

GARCIA, Y. M. **Aplicação do código florestal como subsídio para o planejamento ambiental na bacia hidrográfica do Córrego do Palmitalzinho - Regente Feijó - São Paulo**. 2011. 145 f. Trabalho de conclusão (Bacharelado em Geografia)-Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hidrophysical appoach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin** (Geol Soc Am Bull, GSA Bulletin), Colorado, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Carta topográfica:** folha de Botucatu. Serviço gráfico do IBGE, 1969. Escala 1:50.000.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI, J. R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no *Rosa et al. Perfil De* Carga Do Motor De Colhedoras... 184 p. Sistema de capacidade de uso. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

MARQUES, J. Q. A. Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra. Rio de Janeiro: Escritório Técnico de Agricultura Brasil – Estados Unidos (ETA), 1971. 433 p.

MELLO FILHO, J. A.; ROCHA, J. S. M. da. Planejamento do uso da terra da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Sesmaria, em Resende, RJ. Ensino de Pesquisa: Geografia, Santa Maria, n. 6/7, p. 93-108, 1994.

MOREIRA, L.; RODRIGUES, V. A. Análise morfométrica da microbacia da Fazenda Edgárdia – Botucatu (SP). Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal. Garça, v. 16, n. 1, p.9-21, 2010.

OLIVEIRA, A.; FERREIRA, E. Caracterização de sub-bacias hidrográficas. Pós-graduação "Lato Sensu" (especialização a distância) - Gestão e manejo ambiental em sistemas agrícolas). Lavras: UFLA/FAEPE, 2001, 64 p.

PIEDADE, G. C. R. Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP. 1980. 161 f. Tese (Livre Docência), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

PINA, M. de F. de.; SANTOS, S. M. Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde. Brasília: OPAS, 2000.

POLITANO, W. Estudos básicos de aerofotogrametria e fotointerpretação no curso de Agronomia: apostila didática do curso de Agronomia. Jaboticabal: FCAV/ UNESP, 1978. 57 p.

ROCHA, J. S. M.; SILVA, S. M. J. M. Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas. Santa Maria: UFSM, 2001. 302 p.

ROCHA, J. S. M. da. manual de manejo integrado de bacias hidrográficas. Santa Maria: Edições UFSM, 1991. 181 p.

RODRIGUES, D. P; NOLASCO, M. C.; JESUS, T. B. Geoprocessamento aplicado ao estudo da análise morfométrica: o caso da microbacia do rio Coisa Boa – Igatu – Chapada Diamantina - BA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. p. 3947.

RODRIGUES, F. M.; PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica Córrego da Fazenda Glória, Município de Taquaritinga. Irriga, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 310-322, 2008.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and sloes in bedlands at Perth Amboy. New Jersey. Geological Society of America Bulletin (Geol Soc Am Bull, GSA Bulletin), Colorado, v. 67, p. 597-646, 1956.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; BARBOSA, C. P. Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas. São Carlos: Rima, 2004. 141 p.

SILVA, M. C.; COSTA, C. D. O.; CAPPI, N.; GENTIL, R. H. P. Morfometria da microbacia do córrego fundo no Município de Aquidauna, MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2, 2009, Corumbá. Anais... São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p. 290-295.

SILVA, M. S.; PIEDADE, G. C. R. Análise do relevo de uma bacia hidrográfica através da curva de distribuição percentual da superfície em função das suas declividades parciais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. Anais... Ilhéus: CEPLAC/SBEA, 1993. p. 362-373.

SIQUEIRA, H. E.; TIBERY, L. R.; GUIDOLINI, J. F.; VALLE JUNIOR, R. F.; RODRIGUES, V. A. Análise morfométrica e definição do potencial de uso do solo da microbacia do Rio Veríssimo, Veríssimo - MG. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 2236-2248, 2012.

SMITH, K. G. Standards for grading texture of erosional topography. American Journal of Science, New Haven, v. 248, n. 9, p. 655-668, 1950.

STRAHLER, A. N. Hypsometric analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin Rosa et al. Perfil De Carga Do Motor De Colhedoras... (Geol Soc Am Bull, GSA Bulletin), v. 63, p. 1117-1142, 1952.

STRALHER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions. American Geophysical Union, New Haven, v. 38, p. 913-920, 1957.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CRISTOFOLETTI, A. Introdução aos sistemas de informação geográfica. Rio Claro: Ed. de Autor, 1992. 80 p.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. de; RIBEIRO, C. A. A. S. R.; LEITE, F. P. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

CAPÍTULO 10

ANÁLISE DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE MICROBACIA HIDROGRÁFICA

Felipe de Souza Nogueira Tagliarini
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: felipe_tagliarini@hotmail.com

Yara Manfrin Garcia
Faculdade de Ciências e Engenharias – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: yaramanfrin@hotmail.br

Mikael Timóteo Rodrigues
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: mikaelgeo@gmail.com

Bruno Timóteo Rodrigues
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: brunogta21@gmail.com

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Resumo: O trabalho teve como objetivo realizar a caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Córrego do Bebedouro, Planalto-SP, com utilização do Sistema de Informações (SIG) IDRISI 17.0 Selva, do *software* CartaLinx e da carta topográfica do município de Planalto-SP, editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Foram avaliadas variáveis e parâmetros morfométricos relacionados à dimensão, ao relevo, à forma e à drenagem da microbacia. A microbacia possui área de 665 ha e perímetro de 11,85 km, sendo considerada de 2ª ordem de magnitude. Os resultados relacionados à forma mostraram que a microbacia possui um formato ovalado, o que lhe proporciona mediana tendência a enchentes e erosões. A extensão do percurso superficial de 522,81 m mostra que a microbacia possui grande distância de escoamento da enxurrada, o que aumenta a tendência de conservação da microbacia. O índice de sinuosidade de 1,06 mostra que os canais da microbacia tendem a ser retilíneos, o que permite inferir que o solo é permeável, com boa infiltração de águas. Desta forma, a avaliação das características morfométricas no estudo das bacias hidrográficas constitui-se em uma importante ferramenta que em conjunto com o uso de SIG torna possível o planejamento e gerenciamento dos recursos naturais visando sua conservação.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, morfometria, análise de tendências, sistema de informação geográfica.

Abstract: The present study aimed to perform the morphometric characterization of the wathershed Córrego do Bebedouro, located in Planalto-SP, using the Geographic Information System (GIS) IDRISI 17.0 Selva, CartaLinx software and topographic map of the city of Planalto-SP, edited by the Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE). Morphometric variables and parameters related to the size, land relief, shape, and drainage of the watershed were evaluated. The watershed has an area of 665 ha and perimeter of 11.85 km, being considered of 2nd order of magnitude. The results related to the shape showed that this wathershed has an ovate shape, which gives it a median tendency to floods and erosions. The extent of the surface course of 522.81 m shows that the watershed has runoff flow of long distance, which increases the tendency of conservation. The sinuosity index of 1.06 shows that the watershed canals tend to be straight, which allows infer that the soil is permeable, with good water infiltration. Thus, evaluation of morphometric characteristics in watershed studies constitutes an important tool that together with GIS use makes the planning and management of natural resources aiming its conservation a possibility.

Keywords: watershed, morphometry, trend analysis, geographic information system.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica pode ser definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, funcionando como um sistema aberto, em que cada um dos elementos, matérias e energias presentes no sistema apresentam uma função própria e estão estruturados e intrinsecamente relacionados entre si (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A água captada das chuvas dentro da bacia possui dois caminhos, ou infiltra no solo formando lençóis freáticos e nascentes, ou escoa superficialmente para um canal principal e seus afluentes, formando rios e córregos, até sua foz ou exutório. A bacia hidrográfica deságua no mar e as sub-bacias e microbacias hidrográficas deságuam em outros rios (RODRIGUES et al., 2013).

A bacia é um dos meios mais eficientes para o controle de recursos hídricos e edáficos que a integram, tanto no meio rural como urbano, visando o desenvolvimento sustentável no qual se compatibilizam atividades econômicas com a preservação ambiental (PISSARRA et al., 2004; SIQUEIRA et al., 2012; SOUZA; FERNANDES, 2000). Nesse sentido, o planejamento em áreas de bacias hidrográficas é fundamental para a preservação dos recursos hídricos (NARDINI et al., 2013).

Assim, ao utilizar como unidade de pesquisa a bacia hidrográfica, Tundisi (2003) considera que a bacia hidrográfica é um processo descentralizado de conservação e proteção ambiental, sendo um estímulo para a integração da comunidade e a integração institucional.

No que se refere a bacias hidrográficas, existem diversos tipos de parâmetros que podem ser analisados. Vários parâmetros físicos foram desenvolvidos, alguns deles aplicáveis à bacia como um todo, enquanto que outros relativos a apenas algumas características do sistema (LIMA, 2008).

A base dos estudos com microbacias hidrográficas começa com a análise da morfometria. É uma ferramenta de diagnóstico das condições fisiográficas naturais, seus parâmetros de análise, tais como: fator de forma, densidade de drenagem, declividade do terreno, entre outros, que servem como indicadores da suscetibilidade à degradação ambiental (RODRIGUES et al., 2013).

O objetivo da morfometria é estabelecer relações entre os parâmetros mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os seus condicionantes, através de índices numéricos que classificam a rede de drenagem. Tais índices numéricos são de fundamental importância na caracterização das potencialidades e áreas de uso de uma bacia, permitindo o seu manejo adequado com diagnósticos e análises de riscos de degradação dos recursos ambientais. Os índices possibilitam, ainda, avaliar o grau de susceptibilidade à erosão da área compreendida e o comportamento da bacia (SIQUEIRA et al., 2012).

Para auxiliar nos estudos de morfometria, tem-se o uso de geotecnologias, que segundo Fitz (2008) podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico.

As geotecnologias são compostas por soluções em *hardware*, *software*e*peopleware* que juntas constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões. Dentre as geotecnologias destacam-se os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a cartografia digital, sensoriamento remoto, Sistema de Posicionamento Global (GPS), geoestatística, entre outras (ROSA, 2005).

Os SIGs, segundo Câmara (1993), são sistemas computacionais cujas principais características são: integrar numa única plataforma, informações referentes ao espaço, através de material cartográfico, imagens de satélites e modelos digitais de elevação de terrenos (MDE); combinar informações, por meio de algoritmos gerando mapas; consultar, recuperar e visualizar informações geocodificadas de banco de dados.

Segundo Valle Junior (2008) a utilização de Sistemas de Informações Geográficas tornou-se uma importante ferramenta de pesquisa, com aplicações nas variadas áreas do conhecimento, sendo um instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos de conservação de solos e água. Permitindo realizar análises espaciais e obter informações de distâncias, comprimentos, perímetros e áreas, sendo assim, uma ferramenta de grande valia para os estudos de morfometria.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a morfometria da microbacia do Córrego do Bebedouro localizada no município de Planalto-SP, através do SIG IDRISI e do *software* CartaLinx, relacionando características morfométricas com a tendência de conservação ambiental da microbacia.

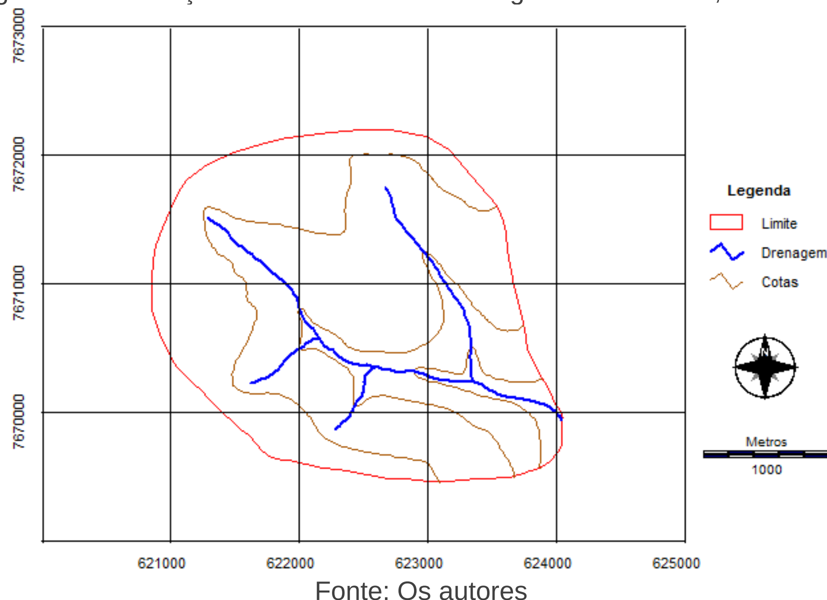
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A microbacia hidrográfica do Córrego do Bebedouro está inserida na bacia hidrográfica do Baixo Tietê e está localizada no município de Planalto, inserido na meso e microrregião de São José do Rio Preto-SP.

A microbacia do Córrego do Bebedouro (Figura 1) está situada entre as coordenadas geográficas 49º 50' 07" a 49º 47' 48" de longitude W Gr. e 21º 04' 00" a 21º 02' 21" de latitude S, com uma área de 665 ha e perímetro de 11,85 km.

Figura 1: Localização da microbacia do Córrego do Bebedouro, Planalto-SP



Fonte: Os autores

O clima do município, conforme a classificação de Köppen é do tipoAw, clima tropical, com verão chuvoso e inverno seco, apresenta precipitação e temperatura médias anuais de 1339,5 mm e 23,6 ºC, respectivamente (CEPAGRI, 2014).

Segundo a CATI (2010), o relevo da região é levemente ondulado, não oferecendo grandes problemas para a realização de atividades agrossilvipastoris. O solo do município de Planalto é representado por aproximadamente 90 % de solos

do tipo Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e cerca de 10 % de solos hidromórficos, sendo em sua maioria constituída de solos de baixa fertilidade natural.

2.2 MENSURAÇÃO DAS VARIÁVEIS

A delimitação da microbacia hidrográfica foi obtida utilizando-se a carta topográfica do município de Planalto-SP, folha SF-22-X-C-III-1, editada pelo IBGE (1972), na escala 1:50.000, com equidistância entre as curvas de nível de 20 m.

Para a mensuração computacional foram utilizados o SIG IDRISI 17.0 Selva e o *software* CartaLinx, sendo o primeiro para georreferenciar, confecção do mapa e a medição da área e perímetro e o segundo, para delimitar a bacia, drenagem, cotas e realizar suas medições. A verificação manual, utilizando curvímetro e planímetro também foi importante para averiguação dos valores encontrados.

3. VARIÁVEIS E/OU PARÂMETROS MORMOMÉTRICOS

3.1 RELACIONADOS À DIMENSÃO DA MICROBACIA

As variáveis e parâmetros morfométricos relacionados à dimensão da microbacia analisados foram: área (A), que corresponde a superfície total da bacia, incluindo todos os pontos situados a altitudes superiores à da saída da bacia e dentro do divisor topográfico que separa duas bacias adjacentes; perímetro (P), corresponde a linha do divisor topográfico, que circunda e delimita a área da bacia; maior comprimento (C), representa a linha que une a foz até o ponto extremo da bacia, sobre a linha do divisor topográfico, seguindo o vale principal; maior largura (L), compreende a dimensão linear que corta transversalmente o vale principal; comprimento da drenagem (Cr), representa o comprimento total da rede que acompanha a sinuosidade dos segmentos de rios que formam a drenagem da bacia hidrográfica; comprimento dos rios de dada ordem (Cwn), corresponde ao comprimento total de todos os segmentos de rios de uma dada ordem “n”, que formam a rede de drenagem da microbacia; comprimento do canal principal (Ccp), representa o comprimento total do segmento de rio principal, acompanhando sua sinuosidade, desde sua nascente até a foz.

3.2 RELACIONADOS AO RELEVO DA MICROBACIA

A declividade média (D%) de uma microbacia é a relação entre a somatória do comprimento das curvas de nível (ΣCn) multiplicada pela equidistância entre as

cotas (ΔH) e dividida pela área (A) da microbacia (CAMPOS et al., 2012). Pode ser calculada pela Equação 1.

$$D = \frac{\sum Cn \times \Delta H}{A} x100 \quad (1)$$

Onde

D = declividade média (%)

ΣCn = somatória do comprimento das cotas (km)

ΔH = equidistância entre as cotas (km), A = área da bacia (km²).

As classes de declividade podem ser separadas em seis intervalos distintos, de acordo com a EMBRAPA (2018), apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação das classes de declividade

Classe de declividade (%)	**Tipo de relevo**
0 – 3	Plano
3 - 8	Suave Ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte Ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (2018)

A altitude média da microbacia (Hm) foi obtida através da média aritmética entre os valores de maior altitude (AM) observada na cabeceira e a menor altitude (am) na foz ou desembocadura, de acordo com Rodrigues e Carvalho (2009). É calculada pela Equação 2.

$$Hm = \frac{AM + am}{2} \quad 2)$$

Onde

Hm = altitude média (m)

AM = maior altitude (m)

am = menor altitude (m).

A amplitude altimétrica (H) é a diferença entre a maior e a menor altitude (AM e am) da microbacia (STRAHLER, 1957). Calculada conforme a Equação 3.

$$H = AM - am \tag{3}$$

Onde

H = amplitude altimétrica (m)

AM = maior altitude (m)

am = menor altitude (m).

De acordo com Nardini et al. (2013) a razão de relevo permite comparar a altimetria de regiões, quanto maiores os valores, mais acidentado é o relevo na região e maior será o escoamento superficial direto da água das chuvas, o que reflete em uma menor relação infiltração-deflúvio, provocando maior risco de erosões. A razão de relevo indica o declive total ou declividade geral da microbacia (STRAHLER, 1957).

A razão de relevo (Rr) segundo Schumm (1956) apud Rodrigues et al. (2011), é obtida através da relação entre a amplitude altimétrica (H) e o seu maior comprimento (C), que corresponde a aproximadamente a direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas. É calculada conforme a Equação 4.

$$Rr = \frac{H}{C} \tag{4}$$

Onde

Rr = razão de relevo

H = amplitude altimétrica (m)

C = maior comprimento (m).

Segundo Piedade (1980) apud Pollo et al. (2012), utilizam-se os seguintes valores para quantificar a razão de relevo: baixa entre 0,0 a 0,10; média entre 0,11 a 0,30 e alta entre 0,31 a 0,60.

O coeficiente de rugosidade (Rn), de acordo com Rocha e Kurtz (2001) é determinado pelo produto entre a densidade de drenagem (Dd) e a declividade média (D%). Calculado pela Equação 5.

$$Rn = Dd \times D\%$$
5)

Onde

Rn = coeficiente de rugosidade

Dd = densidade de drenagem (km/km²)

D% = declividade média (%).

Esse coeficiente é um parâmetro que direciona o uso potencial das terras rurais em bacias hidrográficas, determinando o potencial de uso do solo, para atividades de agricultura, pecuária, silvicultura, reflorestamento ou preservação permanente (SIQUEIRA et al., 2012). Quanto maior for o valor de Rn, maior é a susceptibilidade de ocorrência de erosões dentro da área da microbacia.

Para a interpretação do coeficiente de rugosidade considerou- se a classificação apresentada por Rocha e Kurtz (2001). Onde os coeficientes de rugosidade estão distribuídos em quatro classes: A, B, C, D, com terras propícias respectivamente para: agricultura, pastagens, pastagens/reflorestamento, e reflorestamento (Tabela 2).

Tabela 2: Classes de usos dos solos de acordo com o coeficiente de rugosidade

Coeficiente de rugosidade	**Classe**	**Propensão da terra**
1,09 - 10,63	A	Agriculura
10,43 - 20,18	B	Pastagens
20,19 - 29,73	C	Pastagens/Reflorestamento
29,74 - 39,28	D	Reflorestamento

Fonte: Adaptado de Rocha e Kurtz (2001)

3.3 RELACIONADOS À FORMA DA MICROBACIA

O fator de forma (Ff) correlaciona a forma da microbacia a de um retângulo, é determinado pela razão entre a área da microbacia (A) com o maior comprimento (C) elevado ao quadrado. É calculado pela Equação 6, proposta por Horton (1945). Comparativamente, bacias de fator de forma maior, mais próximos de 1,0, têm

maiores chances de sofrer inundações do que bacias de fator de forma menor (LIMA, 2008).

$$Ff = \frac{A}{C^2} \tag{6)}$$

Onde

Ff = fator de forma

A = área da bacia (km²)

C = maior comprimento (km).

O índice de circularidade (Ic), Equação 7, correlaciona a razão entre a área da microbacia (A) pelo perímetro do divisor topográfico (P) ao quadrado, multiplicado pelo coeficiente da Equação (12,57).

$$Ic = 12{,}57 \times \frac{A}{P^2} \tag{7)}$$

Onde

Ic = índice de circularidade

A = área da microbacia (km²)

P = perímetro do divisor topográfico (km).

O coeficiente de compacidade (Kc) relaciona o formato de uma bacia com o de um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (SIQUEIRA et al., 2012). Esse coeficiente (Equação 8) correlaciona a razão do perímetro do divisor topográfico (P) pela raiz quadrada da área da microbacia (A), multiplicado pelo coeficiente da Equação (0,28).

$$Kc = 0{,}28 \times \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) \tag{8)}$$

Onde

Kc = coeficiente de compacidade

P = perímetro do divisor topográfico (km)

A = área da microbacia (km²).

Conforme maior for a irregularidade da bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente inferior ou igual a 1,0 corresponde a uma bacia circular, portanto, com maior susceptibilidade a enchentes e assoreamentos na rede de drenagem, para uma bacia alongada, seu valor seria superior a 1,7 com maiores tendências à conservação ambiental (NARDINI et al., 2013; RODRIGUES et al., 2013).

Tabela 3: Valores, formato e interpretação do fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc)

Ff	**Ic**	**Kc**	**Formato**	**Interpretação ambiental**
1,00 a 0,75	1,00 a 0,80	1,00 a 1,25	Redonda	Alta tendência a enchentes
0,75 a 0,50	0,80 a 0,60	1,25 a 1,50	Ovalada	Tendência mediana a enchentes
0,50 a 0,30	0,60 a 0,40	1,50 a 1,70	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
< 0,30	< 0,40	> 1,70	Comprida	Tendência a conservação

Fonte: Adaptado de Villela e Mattos (1975) apud Nardini et al. (2013); Rodrigues et al. (2013)

3.4 RELACIONADOS À DRENAGEM DA MICROBACIA

Segundo Horton (1945) a composição da rede de drenagem, nas diferentes ordens de ramificação de uma bacia permite determinar o número de segmentos de rios de dada ordem (Nwn), que corresponde o número total de segmentos de rios de uma dada ordem "n" e o número total de segmentos de rios (Nt) da microbacia, que corresponde a somatória de todos os segmentos de rios das diferentes ordens presentes dentro da área da microbacia.

A razão de bifurcação (Rb) é caracterizada pela relação entre o número de canais de uma dada ordem (Nwn) e o número de canais de ordem imediatamente superior (Nwn+1) seguinte (HORTON, 1945). É calculada pela média aritmética entre Nwn e Nwn+1 (Equação 9).

$$Rb = \frac{[(Nwn / \quad Nwn+1) + (Nwn+1 / \quad Nwn +}{2}$$

9)

Onde

Rb = razão de bifurcação

Nwn = número de segmentos de rio de uma dada ordem.

Segundo Christofoletti (1980), a razão de bifurcação nunca pode ser inferior a 2,0, uma vez que os valores padrões variam entre 3,0 a 5,0, sendo assim, considerado um canal normal.

A frequência de rios (F) correlaciona a relação entre o número de canais de primeira ordem (Nw1) com a área da microbacia (A). Foi calculada segundo a descrição realizada por Horton (1945), pela Equação 10.

$$F = \frac{Nw1}{A} \qquad 10$$

Onde

F = frequência de rios

Nw1 = número de segmentos de rio de 1ª ordem

A = área da bacia (km²).

A razão de textura (T), segundo Smith (1950), é a razão entre o número de canais de primeira ordem (Nw1) com o perímetro do divisor topográfico (P), obtida pela Equação 11. Esses autores classificam a razão de textura em: grosseira (T < 2,5); média (T entre 2,5 a 6,2); e fina (T > 6,2).

$$T = \frac{Nw1}{P} \qquad 11$$

Onde

T = razão de textura

Nw1 = número de segmentos de rio de 1ª ordem

P = perímetro do divisor topográfico (km).

A densidade de drenagem (Dd) é um índice importante, pois reflete a influência da geologia, topografia, do solo e da vegetação da bacia hidrográfica, está relacionado com o tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia

(LIMA, 2008). É calculada pela razão (Equação 12) entre o comprimento de drenagem (Cr) com a área da microbacia (A), proposta por Horton (1945).

$$Dd = \frac{Cr}{A} \qquad 12$$

Onde

Dd = densidade de drenagem (km/km²)

Cr = comprimento da drenagem (km)

A = área da bacia (km²).

De acordo com Cardoso et al. (2006) o estudo da densidade de drenagem indica maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, esse índice indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece indicação da eficiência da drenagem da bacia.

França (1968) apud Rodrigues et al. (2013) classificou a densidade de drenagem em: baixa (< 1,5 km/km²), média (1,5 a 2,5 km/km²), alta (2,5 a 3,0 km/km²) e super alta (> 3,0 km/km²), de acordo com o Tabela 4.

Tabela 4: Valores, classificação e interpretação dos resultados da densidade de drenagem

Dd (km/km²)	**Classificação**	**Interpretação ambiental**
< 1,5	Baixa	Baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,5 a 2,5	Média	Tendência mediana de escoamento superficial
2,5 a 3,0	Alta	Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas
> 3,0	Super alta	Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosões

Fonte: Adaptado de Horton (1945), Strahler (1957), França (1968) apud Rodrigues et al. (2013)

O coeficiente de manutenção dos canais (Cm) é importante para a caracterização do sistema de drenagem, limitando a área mínima necessária para o desenvolvimento e manutenção de um canal de escoamento permanente. De acordo com Nardini et al. (2013), esse coeficiente tem dimensão de comprimento e aumenta em magnitude conforme a área de contribuição aumenta e está expresso pela Equação 13.

$$Cm = \frac{1}{Dd \times 100} \times 100 \qquad 13$$

Onde

Cm = coeficiente de manutenção (km/km²)

Dd = densidade de drenagem (km/km²).

Lana et al. (2001) constataram que quanto menor for o resultado obtido para o coeficiente de manutenção, de uma maneira geral, maior é a riqueza da microbacia em cursos d’água.

A extensão do percurso superficial da água de enxurrada (Eps), determinada pela Equação 14, representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente (CHRISTOFOLETTI, 1969).

$$Eps = (1/2 \times Dd) \times 1000 \qquad 14$$

Onde

Eps = extensão do percurso superficial (m)

Dd = densidade de drenagem (km/km²).

O gradiente de canais (Gc) consiste na razão entre a maior altitude (AM) pelo comprimento do canal principal (Ccp), expresso em porcentagem (Equação 15). Segundo Horton (1945) a finalidade desse índice é indicar a declividade dos cursos d'água.

$$Gc = \left(\frac{AM}{Ccp}\right) \times 100 \qquad 15$$

Onde

Gc = gradiente de canais (%)

AM = maior altitude (km)

Ccp = comprimento do canal principal (km).

O índice de sinuosidade (Is) é um fator controlador da velocidade de fluxo, pois quanto maior for a sinuosidade, maior a dificuldade encontrada pelo canal no

seu caminho à foz, portanto menor a velocidade (VALLE JUNIOR, 2008). Esse índice (Equação 16) consiste na razão entre o comprimento do canal principal (Ccp) pela distância vetorial (dv) entre nascente e foz.

$$Is = \left(\frac{Ccp}{dv}\right) \quad 16$$

Onde

Is = índice de sinuosidade

Ccp = comprimento do canal principal (km)

dv = distância vetorial do canal principal (km).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros e variáveis dimensionais são de extrema importância para o estudo da morfometria de microbacias, pois permitem sua caracterização e suas análises de tendência de degradação ou conservação ambiental, uma vez que estes dados conferem todas as informações necessárias para o cálculo dos demais parâmetros morfométricos, além da correta interpretação da microbacia.

Os resultados encontrados para as variáveis e parâmetros morfométricos relacionados à dimensão, ao relevo, à forma e drenagem, da microbacia do Córrego do Bebedouro estão presentes na Tabela 5.

A microbacia possui área (A) de 6,65 km², com perímetro (P) de 11,85 km, comprimento de drenagem (Cr) de 6,36 km e comprimento do canal principal (Ccp) de 3,38 km.

A declividade média (D) da microbacia estudada foi de 4,45 %, que segundo a classificação de solos da EMBRAPA (2018) para classes de declive, o relevo da microbacia é considerado como suave ondulado. Essa baixa declividade gera um escoamento superficial de menor velocidade, o que permite maior infiltração das águas das chuvas, resultando em sistema hidrológico melhor regulado dentro da bacia.

A amplitude altimétrica (H) encontrada na área foi de 40 m, um diferencial entre a maior altitude (AM) de 460 m e a menor altitude (am) de 420 m, a altitude média (Hm) obtida pela média aritmética entre AM e am foi de 440 m.

Tabela 5: Características morfométricas da microbacia do Córrego do Bebedouro

Variáveis e/ou parâmetros morfométricos	Unidade	Resultados
Relacionados à dimensão		
Área (A)	km²	6,65
Perímetro (P)	km	11,85
Maior comprimento (C)	km	3,56
Maior largura (L)	km	2,75
Comprimento da drenagem (Cr)	km	6,36
Comprimento dos rios 1ª ordem (Cw1)	km	4,31
Comprimento dos rios 2ª ordem (Cw2)	km	2,05
Comprimento do canal principal (Ccp)	km	3,38
Distância vetorial do canal principal (dv)	km	3,18
Comprimento das cotas (Cn)	km	14,81
Relacionados ao relevo		
Declividade média (D)	%	4,45
Menor altitude (am)	m	420
Maior altitude (AM)	m	460
Altitude média (Hm)	m	440
Amplitude altimétrica (H)	m	40
Razão de relevo (Rr)	-	0,011
Coeficiente de rugosidade (Rn)	-	4,26
Relacionados à forma		
Fator de forma (Ff)	-	0,52
Índice de circularidade (Ic)	-	0,60
Coeficiente de compacidade (Kc)	-	1,29
Relacionados à drenagem		
Ordem da microbacia (w)	-	2ª
Número de segmentos de rios de 1ª ordem (Nw1)	-	4
Número de segmentos de rios de 2ª ordem (Nw2)	-	3
Número total de segmentos de rios (Nt)	-	7
Razão de bifurcação (Rb)	-	1,33
Frequência de rios (F)	-	0,60
Razão de textura (T)	-	0,34
Densidade drenagem (Dd)	km/km²	0,96
Coeficiente de manutenção (Cm)	km/km²	1,05
Extensão do percurso superficial (Eps)	m	522,81
Gradiente de canais (Gc)	%	13,61
Índice de Sinuosidade (Is)	-	1,06

Fonte: Os autores

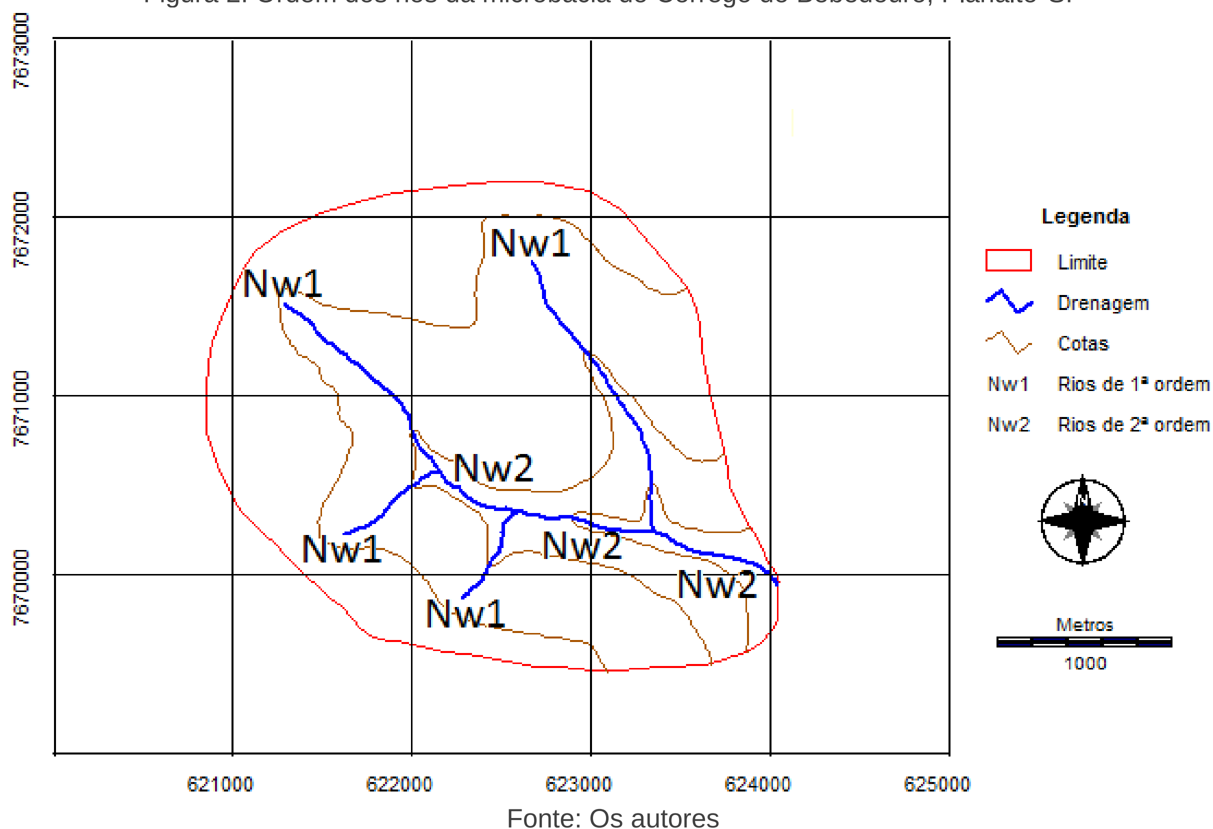
A razão de relevo (Rr) encontrada foi de 0,011, o que segundo Piedade (1980) apud Pollo et al. (2012) classifica a Rr da microbacia como sendo baixa. Esse parâmetro é importante, pois determina a maior ou menor velocidade da água que escoa na bacia, no caso para a microbacia em estudo, indica uma menor velocidade de escoamento superficial, possibilitando assim, uma melhor infiltração de água no solo.

O valor do coeficiente de rugosidade (Rn) encontrado foi de 4,26 assim classificando o solo da microbacia como classe A, terra propicia a atividades de agricultura, segundo classificação proposta por Rocha e Kurtz (2001).

Os resultados dos parâmetros relacionados à forma apresentados na Tabela 5, evidenciaram que através do fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc), a microbacia pode ser classificada como sendo ovalada, apresentando tendência mediana a enchentes, de acordo com classificação proposta por Villela e Mattos (1975) apud Nardini et al. (2013); Rodrigues et al. (2013).

Apresentando um total de sete segmentos de rios (Nt), com 4 segmentos de 1ª ordem (Nw1) e 3 segmentos de 2ª ordem (Nw2), esta microbacia é caracterizada como sendo de w2ª (w), Figura 2, segundo critérios descritos por Horton (1945) e Strahler (1957). Com relação a razão de bifurcação (Rb) de 1,33, o resultado obtido foi inferior ao limite mínimo de 2,0 para ser considerado um canal normal, de acordo com classificação proposta por Christofoletti (1980).

Figura 2: Ordem dos rios da microbacia do Córrego do Bebedouro, Planalto-SP



Fonte: Os autores

A microbacia possui uma frequência de rios (F) de 0,60. Com relação à razão de textura (T), o valor encontrado foi de 0,34, sendo classificada como grosseira, segundo classificação proposta por Smith (1950).

Com relação à densidade de drenagem (Dd) o resultado encontrado foi de 0,96 km/km², o que segundo classificação proposta por Horton (1945) e adaptada por França (1968) apud Rodrigues et al. (2013), permite classificar a Dd como sendo baixa, com baixo escoamento superficial e maior infiltração, o que possibilita inferir que o solo da microbacia é permeável e a infiltração da água ocorre de forma mais eficiente.

O coeficiente de manutenção (Cm) apresentou resultado de 1,05 km/km², com base nesse valor de Cm apresentado, pode-se afirmar que de uma maneira geral, a microbacia possui uma baixa riqueza de cursos d’água.

Para a extensão do percurso superficial (Eps) o valor encontrado foi de 522,81 m. Quanto maior for a distância do percurso de escoamento das enxurradas das chuvas, maior é o tempo de concentração da água, causando menores alagamentos e garantindo uma maior conservação da microbacia.

O resultado para o gradiente de canais (Gc) foi de 13,61 %. Segundo Horton (1945), a finalidade desse índice é indicar a declividade dos cursos d'água, o valor encontrado mostra que os canais tendem a possuir mediana a baixa declividade.

Já com relação ao índice de sinuosidade (Is) o valor encontrado foi de 1,06, com isso, de acordo com classificação proposta por Lana et al. (2001) os canais da microbacia tendem a serem retilíneos.

5. CONCLUSÃO

Os valores encontrados para o fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade por meio do uso de SIG, demonstraram que a microbacia possui forma ovalada, o que caracteriza mediana tendência a enchentes e erosões, devido à predominância de seu formato.

O valor encontrado para a extensão do percurso superficial mostra que a microbacia possui grande distância de escoamento da enxurrada, resultando em maior tempo de concentração da água, diminuindo a tendência de erosão e aumentando a conservação da microbacia.

O índice de sinuosidade demonstrou tendência a canais retilíneos e a baixa densidade e drenagem permitiu inferir que o solo é permeável com infiltração da água mais eficiente.

Com base no exposto, pode-se inferir que a microbacia do Córrego do Bebedouro está em boas condições de conservação ambiental no que se diz respeito a análise em relação a sua morfometria.

A análise da morfometria da microbacia contribuiu para a compreensão de forma integrada da natureza do sistema como um todo, através das variáveis e parâmetros levantados, estabelecendo relação entre os processos e a morfologia resultante.

REFERÊNCIAS

CAMARA, G. **Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas**: visão atual e perspectiva de evolução. In: ASSAD, E., SANO, E., ed. Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura. Brasília: EMBRAPA, 1993.

CAMPOS, S.; SILVA, C. O.; GARCIA, Y. M. Avaliação morfométrica da microbacia do ribeirão Benfica - Piquete (SP). **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 8, n. 2, p. 407-421, 2012.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL. **Plano municipal de desenvolvimento rural sustentável 2010-2013:** Município de Planalto-SP. 2010. Disponível em: http://www.cati.sp.gov.br/new/cmdr_plano.php?cod_mun=437. Acesso em: 21 abr. 2014.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas – Planalto**. 2014. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_445.html. Acesso em: 15 abr. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfologica**, Campinas, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. 356 p.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**.São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hidrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**, New York, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta topográfica**: folha de Planalto (SF-22-X-C-III-1). Serviço gráfico do IBGE, 1972. Escala 1:50.000.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio Tanque, MG - Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. 121-126, 2001.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Departamento de Ciências Florestais Piracicaba - São Paulo. Piracicaba, 2008.

NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013.

PISSARRA, T. C. T., POLITANO, W. E FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal-SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 297-305, 2004.
POLLO, R. A.; BARROS, B. S. X.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; RODRIGUES, V. A. Caracterización morfométrica de la cuenca del Arroyo Agua da Lucia, Botucatu-SP. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 163-174, 2012.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4. ed. Santa Maria: UFSM/CCR, 2001. 120 p.

RODRIGUES, V. A.; CARDOSO, L. G.; POLLO, R. A.; RE, D. S.; PISSARRA, T. C. T.; VALLE JUNIOR, R. F. Análise morfométrica da microbacia do Ribeirão das Araras-SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 21, n. 1, p. 25-37, 2013.

RODRIGUES, V. A.; CARVALHO, W. A. Morfometria da microbacia do córrego Água Limpa. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 39, n. 39, p. 15-24, 2009.

RODRIGUES, V. A.; FENNER, P. T.; AMARAL, L. P.; BANTEL, C. A.; IMANA, J. E.; ENCINAS, O. B. Degradação ambiental da microbacia do ribeirão Tamanduá em relação com sua morfometria. **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, v. 1, n. 55, p. 23-28, 2011.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: http://www.cchla.ufrn.br/geoesp/arquivos/artigos/ArtigoAmbienteGeotecnologias.pdf. Acesso em: 20 abr. 2014.

SIQUEIRA, H. E.; TIBERY, L. R.; GUIDOLINI, J. F.; VALLE JUNIOR, R. F.; RODRIGUES, V. A. Análise morfométrica e definição do potencial de uso do solo da microbacia do rio Veríssimo, Veríssimo - MG. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 2236-2248, 2012.

SMITH, K. G. Standards for grading texture of erosional topography. **American Journal of Science**, New Haven, v. 248, n. 9, p. 655-668, 1950.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R**.** Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 15-20, 2000.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, Washington, DC, v. 38, n. 6, p. 913-20, 1957.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI:** enfrentando a escassez. São Carlos: RIMA, IIE, 2003.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.

CAPÍTULO 11

GEOPROCESSAMENTO APLICADO NO CONFLITO DO USO DO SOLO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA MICROBACIA DO CÓRREGO TRÊS BARRAS BOTUCATU-SP

Mariana de Campos
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: marianacampos03@unesp.br

Rogério Falaska Alexandrino
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: rogerio.falaska@unesp.br

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Ivan Giacomo Silva
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: ivangiacomo@hotmail.com

Resumo: O presente artigo tem por objetivo a análise da evolução temporal no período de 11 anos e a caracterização do uso do solo e dos conflitos nas Áreas de Preservação Permanente (APP) na microbacia do Córrego Três Barras, Botucatu (SP), por meio de fotografias aéreas coloridas de 2000 e imagem de satélite Landsat TM -5, passagem de 2011 com auxilio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) IDRISI Selva e tendo como referencia legal o Código Florestal (Lei n° 12.727 de 17 de Outubro de 2012) na definição das Áreas de Preservação Permanente dos cursos d'água e ao redor das nascentes. Na geração do mapa de APP criou-se um *buffer* de 50m de raio nas áreas das nascentes e um de 30m de em ambas margens dos cursos d'água (10m) resultou no mapa das APP da microbacia. Na determinação das áreas de conflito de uso em APP, foi realizada uma sobreposiçãodos mapas de uso e cobertura do solo e das APP, para no mapeamento e determinação das áreas de conflitos. Dessa forma, foram identificado quatro classes de uso da terra em 2000 e cinco classes em2011. As áreas de conflitos de uso em APP foram de 52, 77% (2000) e 21,35% (2011). As pastagens e arroz vem ocupando as APPs ilegalmente segundo a legislação florestal brasileira.

Palavras-chave: Área de Preservação Permanente, Sistemas de Informações Geográficas, Código Florestal.

Abstract: This article aims to analyze the temporal progression, over 11 years and the characterization of land use and conflicts in Permanent Preservation Areas (PPA) in the Stream Tres Barra watershed, Botucatu (SP), through photographs air colorful 2000 and satellite image Landsat TM -5, passage 2011 with the help of Geographic Information System (GIS) IDRISI Selva and having as legal references the Forest Code (Law No. 12727 of 17 October 2012) in the definition Permanent Preservation

Areas of waterways and around the springs. In APP map generation created a radius of 50m buffer areas of springs and 30m on both banks of waterways (10m), resulting in APPs map of the watershed. In determining the use of conflict areas in PPA, an overlap of the use of maps and land cover was performed and APP to the mapping and identification of conflicting areas. Thus, they identified four land use classes in 2000 and five classes in 2011. The areas of use conflicts in PPA were 52, 77% (2000) and 21.35% (2011). The pastures and rice has been occupying illegally the PPAs under Brazilian forestry legislation.

Keywords: Permanent Preservation Area, Geographic Information Systems, Forest Code.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui a lei florestal que institui as normas gerais de como o território dever ser explorado e utilizado, sendo determinadas na legislação as áreas que devem ser preservadas.

As Áreas de Preservação Permanente (APP) segundo o código florestal n° 12.727 de outubro de 2012, possui um papel importante para o equilíbrio e proteção do meio ambiente, auxilia na conservação da biodiversidade e é responsável por assegurar o fluxo gênico de espécies da fauna e da flora, além de ter como função proteger o solo, os recursos hídricos e as matas ciliares (BRASIL, 2012).

A conservação e proteção do meio ambiente se dá através de ferramentas como a geotecnologia, segundo Fitz (2008) geotecnologias são entendidas como as novas tecnologias ligadas às áreas de geociências e correlatas, portanto, visam trazer avanços significativos para gestão e o estudo do espaço geográfico de maneira rápida e eficaz.

Entretanto, para diagnosticar, classificar e mapear tipos de uso dos solos, segundo Liu (2006) as imagens de satélite são de extrema importância, pois monitoram e planejam ações na conservação e na preservação dos recursos naturais através de técnicas rápidas e eficientes.

No planejamento do uso do solo (Nardini, 2009), o SIG é uma ferramenta com alta capacidade de armazenamento de informações, possui capacidade de manipulação dos dados armazenados. A utilização desta ferramenta vem se mostrando ágil e eficaz na geração de mapas que auxiliam no estudo do planejamento dentro de regiões da bacia e microbacias hidrográficas.

Neste contexto, o SIG IDRISI Selva trabalha com as funcionalidades voltadas ao processamento de imagens, do qual permitem analisar, processar e visualizar os mais variados dados. Nas ferramentas de planejamento territorial é importante para tomada de decisões e analise de áreas de risco, tendo como suporte as ferramentas de estatística, analise de superfície e modelagem espacial (SULSOFT, 2014).

Portanto, para esse estudo, o geoprocessamento e o sensoriamento remoto são ferramentas fundamentais que auxiliam no estudo temporal de um determinado local, onde é possível observar e registrar as mudanças ocorridas na paisagem.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de gerar os mapas de conflitos e uso e ocupação do solo nas Áreas de Preservação Permanente na microbacia do Córrego Três Barras (SP) utilizando ferramentas de geotecnologias além de fundamentá-las de acordo com o Código Florestal Brasileiro.

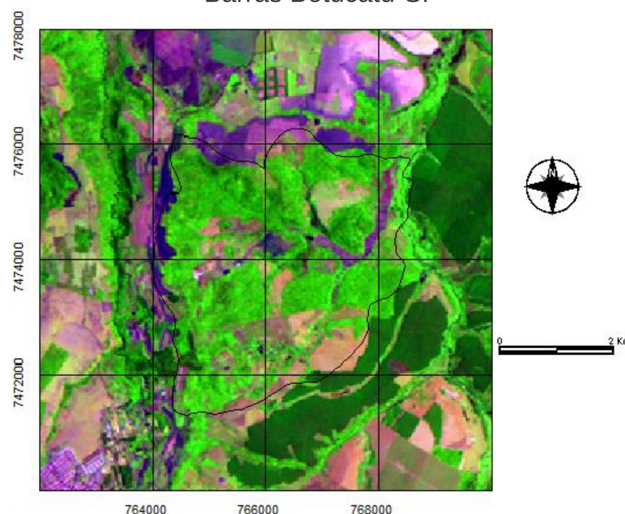
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ASPECTOS GERAIS DA MICROBACIA DO CÓRREGO TRÊS BARRAS

A área de estudo compreende o município de Botucatu (SP), na microbacia do Córrego Três Barras. A área possui 1672,84 hectares, sua situação geográfica é definida pelas coordenadas: latitude 22º47’08” a 22º51’29” S e longitudes 48º 22’ 16” a 48º 26’ 12” W

Segundo a classificação climática de Köppen o clima do município de Botucatu é Cwa, tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CEPAGRI, 2014).

Figura 1: Imagem de satélite em 2011 pelo sensor TM do Landsat-5 da Microbacia do Córrego Três Barras Botucatu-SP



Fonte: Os autores

2.2 FOTOGRAFIAS AÉREAS

Para Marchetti & Garcia (1977) a estereoscopia é uma ciência que permite a visão estereoscópica de terceira dimensão e está intimamente ligada à fotogrametria e fotointerpretação. Aplica-se no uso de fotografias em instrumentos óticos para observação e obtenção de medidas de confiança.

Desta forma, para a execução deste trabalho, utilizou-se fotografias aéreas verticais coloridas do município de Botucatu (SP) procedente das coberturas aerofotogramétricas do Estado de São Paulo de 2000, com escala nominal aproximada de 1:30.000.

As áreas de uso e cobertura do solo foram decalcadas, a partir de fotografias aéreas verticais em filme poliéster Terkron D-50u, sendo em seguida, realizada a transferência dos elementos de interesse da fotografia para o mapa base obtido através da Carta do IBGE em escala 1:50.000 com o auxílio de outro aparelho chamado de Aerosketchamaster.

2.3 IMAGEM DE SATÉLITE

As imagens de satélite foram georreferenciadas no IDRISI Selva, para esse procedimento foram localizados os pontos de controles (coordenadas) para o georreferenciamento, os pontos de máxima altitude para digitalização do limite da microbacia tiveram como base a Carta Planialtimétrica em formato digital, editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1969), Botucatu, em escala 1:50.000.

Para obtenção do mapa de uso e ocupação do solo da imagem de satélite, foi elaborada a composição colorida das bandas 3, 4, 5, obtidas a partir da imagem de satélite digital do sensor "Thematic Mapper" do LANDSAT- 5, da órbita 220, ponto 76, quadrante A, passagem de 2011, escala 1: 50.000, através do método de classificação em tela.

Para análise e identificação dos elementos padrões de uso da terra, esta composição possui uma boa interpretação visual dos objetos. Desta forma, as cores das bandas do sensor TM correspondem às chaves interpretativas, conforme Florenzano (2011) descreve como rosa a área urbana, área desmatada, solo exposto, tonalidades de verde o reflorestamento adulto, a área de mata/capoeira) e azul os corpos d'água e materiais em suspensão, rios, lagoas, represas e oceano e cor preta a água limpa e área queimada.

Essas composições foram convertidas para o formato BMP através do CartaLinx, para serem interpretadas.

Após a identificação dos diferentes tipos de classe de uso e cobertura do solo, os polígonos vetorizados foram exportados para o IDRISI para elaboração do mapa final e quantificação das áreas.

2.4 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Para definir as áreas de Preservação Permanentes dos cursos d'água e ao redor das nascentes, criou-se um buffer de 50 metros de raio nas áreas das nascentes e um de 30 metros de cada lado dos cursos d'água (considerando todos de 10m), no cruzamento desses dois mapas, resultou no mapa final das APP, baseado na Lei Florestal n° 12.727. (Tabela1).

Tabela 1: Largura e faixas das áreas de preservação permanente

Largura dos Rios (m)	**Faixa de Preservação em cada margem (m)**
Até 10	30
Entre 10 e 50	50
Entre 50 e 200	100
Entre 200 e 600	200
Superior a 600	500
Nascentes	Raio de 50m

Fonte: Brasil, Código Florestal, Lei 12.727 de 17 de Outubro de 2012

Para identificar as áreas de conflito de uso em APP, foi realizada uma sobreposição *(overlay)* com os mapas de uso e cobertura do solo x mapa final das APP e através da operação "*Database Query/Area*", foi calculado as respectivas áreas.

2.5 MAPAS DE CONFLITO DE USO NAS APP

Foram considerados sob uso conflitante todas as áreas que não eram de vegetação nativa presentes nas APP das nascentes e cursos d'água.

Para quantificar os tipos de uso conflitante foi utilizada a álgebra de mapas (mapa de uso da terra x mapa final das APP). Logo em seguida foi realizado o *overlay* do mapa de uso e cobertura com o mapa das APP para a identificação das áreas de conflito de uso nas APP também no IDRISI.

Após a sobreposição desses mapas, as áreas de ocorrência dos conflitos de acordo com as classes de uso foram identificadas e devidamente mensuradas, executando as funções de cálculo de área.

3. RESULTADOS

O termo uso e ocupação do solo podem ser interpretados como terras que retratam as atividades humanas e suas ocupações. Assim, é de suma importância o levantamento do uso da terra para análises dos efeitos desordenados dos usos que causam deterioração do ambiente. Na região de estudo, obteve-se como resultado a identificação de 4 classes de usos em 2000 que foram divididas em mata, pastagem, cultura de arroz e várzea. Já em 2011, foram constatadas 5 classes sendo elas: mata, pastagem, cultura de arroz, várzea e eucalipto (tabela 2).

Tabela 2: Áreas e porcentagens de uso e ocupação do solo em 2000 e 2011

Uso do solo	2000		2011	
	ha	%	ha	%
Mata	1034,24	61,83	1097,03	65,58
Pastagem	576,79	34,48	517,48	30,93
Arroz	43,09	2,57	45,94	2,75
Várzea	16,11	0,96	4,44	0,27
Total	1672,84	100	1672,84	100

Fonte: Os autores

Entretanto, os dados obtidos a partir do georreferenciamento da microbacia nos permitem avaliar e quantificar as áreas apresentadas como conflitos e uso e ocupação do solo em APP para interpretação da realidade ambiental e a caracterização do espaço rural, por fim obtendo resultados para a interpretação da evolução temporal no período de 11 anos, conforme apresentados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Uso e ocupação do solo em APP

Uso do solo	2000		2011	
	ha	%	ha	%
Mata	65,37	47,23	108,86	78,65
Pastagem	50,34	36,37	20,83	15,05
Arroz	22,69	16,40	8,28	5,99
Várzea	-	-	0,43	0,31
Eucalipto	-	-	5,92	0,35
Total	138,40	100	138,40	100

Fonte: Os autores

Nardini (2009) ressalta que as APP, além de promoverem a preservação dos recursos naturais, elas melhoram a qualidade de vida dos habitantes, em função dos benefícios gerados pelo equilíbrio de sua função ambiental.

Em suma, asÁreas de Preservação Permanente têm papel vital dentro de uma microbacia, por serem responsáveis pela manutenção, preservação e conservação dos ecossistemas existentes (MAGALHÃES E FERREIRA, 2000).

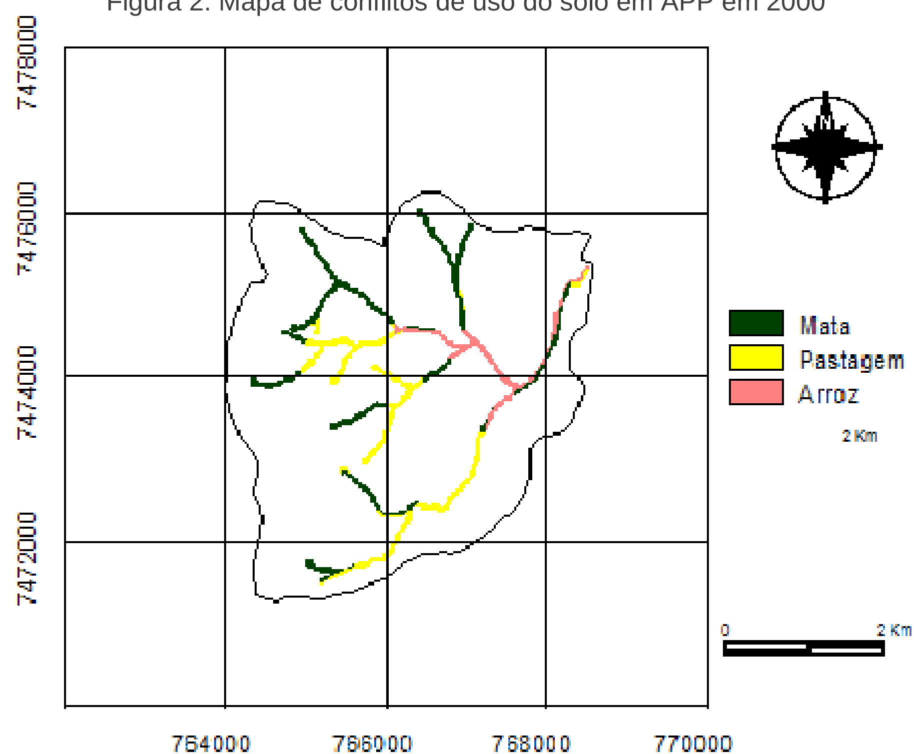
Tabela 4: Conflitos em APP

uso do solo	2000		2011	
	ha	%	ha	%
Mata	-	-	-	-
Pastagem	50,34	36,37	20,83	15,05
Cultura de Arroz	22,69	16,40	8,28	5,99
Várzea	-	-	0,43	0,31
Total	73,03	52,77	29,54	21,35

Fonte: Os autores

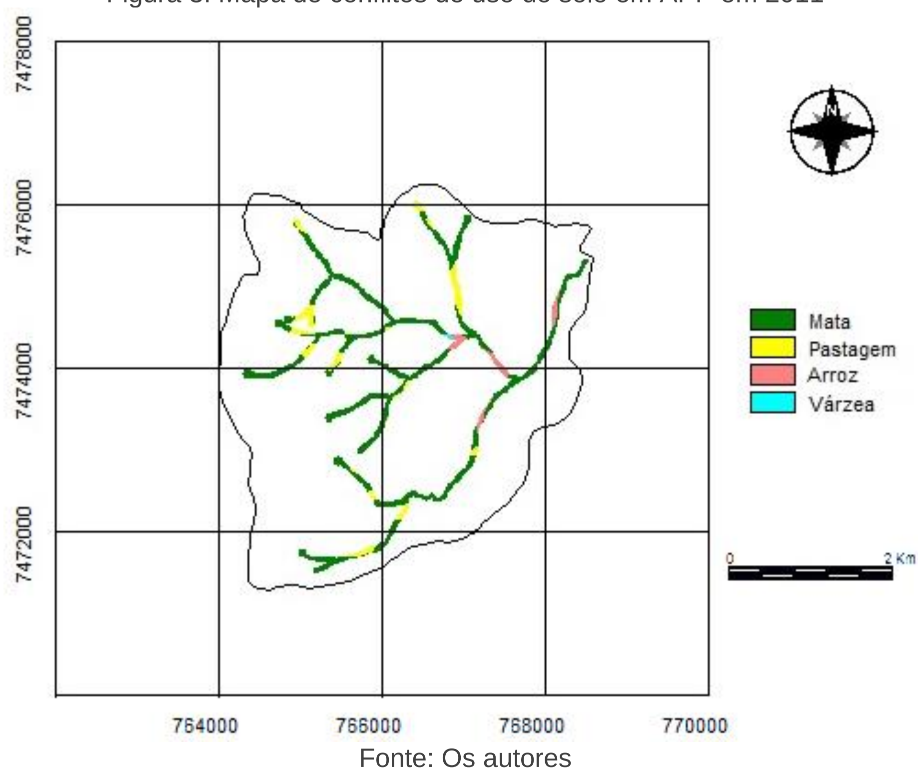
Observa-se no mapa de conflitos de uso de solo em APP gerado por meio de fotografias aéreas coloridas de 2000 (Figura 2 e Tabela 4), que a microbacia possui 73,03 ha de conflitos em APP para o ano de 2000, estes classificados como pastagem (50,34 ha) e cultura de arroz (22,69 ha), já em 2011 analisados por imagem de satélite (figura 3 e tabela 4) correspondem à pastagem (20,83% ha), cultura de arroz (8,28 ha) e várzea (0,43 ha), totalizando em 29,54 ha.

Figura 2: Mapa de conflitos de uso do solo em APP em 2000



Fonte: Os autores

Figura 3: Mapa de conflitos de uso do solo em APP em 2011



Fonte: Os autores

Desta forma, permitiu-se constatar que a mata foi a classe mais significativa da área representando 47, 23% em 2000 e 78,65% em 2011, mostrando que a microbacia vem sendo conservada ambientalmente ao longo dos anos. Estas classes são formadas também por matas ciliares que são usadas para classificar as formações vegetais que ocorrem nas margens dos rios, tendo como função a proteção dos recursos hídricos e dos ecossistemas. As matas são elementos essenciais na preservação ambiental.

4. CONCLUSÃO

A utilização das fotografias aéreas verticais e imagem de satélite estabelecer que asÁreas de Preservação Permanente correspondem a 138,40 há (8, 27%) da microbacia.

Os resultados do uso e ocupação do solo e conflitos em APP de 2000 e 2011 mostraram que a mata vem sendo conservada e a pastagem reduziu 21,32 %, ressaltando que os conflitos de uso do solo ainda existem na microbacia, sendo as áreas de preservação permanente ocupadas irregularmente por pastagens.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei n º 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 out. 2012. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm> Acesso em: 13 jun. 2014.

CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_231.html>. Acesso em: 15 abr. 2014.

FITZ, P.R. Geoprocessamento Sem Complicação. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de texto, 2011. 47p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de** Sensoriamento Remoto Campo Grande- MS: Ed. UNIDERP, 2006.908 p.

MAGALHÃES, C. S; FERREIRA, R. M**. Áreas de Preservação Permanente em uma microbacia**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte. 2000. p.33-39.

MARCHETTI, D. B; GARCIA. G.J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo, Editora Nobel, 1977.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 3ª Edição, Editora UFV, Viçosa, 2007. 241p.

NARDINI, R. C**. Determinação do conflito de uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente da microbacia do ribeirão Água-Fria, Bofete (SP), visando a conservação dos recursos hídricos**. 2009. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) -Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP. UNESP. 2009.

SULSOFT **– IDRISI Selva**. Disponível em: <http://www.idrisi.com.br/index. php/idrisi>. Acesso em: 10 abr.2014.

CAPÍTULO 12

CARACTERIZAÇÃO DE CONFLITOS DE USO DO SOLO EM APPs NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO BARRA SECA (PEDERNEIRA/SP)

Yara Manfrin Garcia
Faculdade de Ciências e Engenharias – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: yaramanfrin@hotmail.br

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Anselmo José Spadotto
Universidade 9 de Julho – UNINOVE – SP
E-mail: spadotto@laser.com.br

Mariana de Campos
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: marianacampos03@unesp.br

Gabriel Rondina Pupo da Silveira
Faculdade de Ciências e Engenharias – UNESP – Tupã, SP
E-mail: gabrielrondina@hotmail.br

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo mapear as classes de uso e ocupação do solo e seus respectivos conflitos nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) da bacia hidrográfica do córrego Barra Seca, localizada no distrito de Guaianás, Pederneiras/SP. A área de estudo situa-se geograficamente entre as coordenadas 48º 55’ 17” a 48º 50’ 43” de longitude W Gr. e 22º 23’ 40” a 22º 17’ 06” de latitude S, apresentando uma área de 3937,59ha. Para o apoio cartográfico, utilizou-se a carta planialtimétrica em formato digital, editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1973) referente a folha de Agudos (SF-22-Z-B-II-3), em escala 1:50.000. A imagem de satélite, bandas 3, 4 e 5 do satélite Landsat - 5, sensor TM (*Thematic Mapper*), de 24 de julho de 2011, órbita 221, ponto 75, com resolução espacial de 30 x 30 metros, cedidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizado foi o IDRISI Selva e o software, o CartaLinx. A realização deste trabalho teve como suporte legal a legislação ambiental, mais especificamente, a Lei Federal nº 12.651/12, com alterações feitas pela Lei Federal nº 12.727/12. Os usos e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Barra Seca são mata ciliar, mata, pastagem, reflorestamento, cana-de-açúcar, eucalipto, represa, vias pavimentadas, área urbana, barracões e outros, lazer, outras culturas e cemitério, sendo que os usos mais significantes referem-se a cana-de-açúcar (1960,29ha) representando 49,81% da área total da bacia, seguido de reflorestamento (1025,01ha) e pastagem (405,63ha). Quanto as Áreas de Preservação Permanente constatou-se que elas não estão sendo totalmente preservadas conforme a legislação, apenas 93,57ha

(53,90% do total das APPs) estão preservadas. Desta forma, o estudo de uma determinada bacia hidrográfica torna-se uma ferramenta importante para entender sua dinâmica em relação ao uso e ocupação de sua área, além de reconhecer as inter-relações existentes entre os diversos elementos e processos que atuam no seu limite e caracterizar os seus problemas ambientais.

Palavras-chave: Áreas de Preservação Permanente, Mapeamento do Uso da Terra, Legislação Ambiental, Sistemas de Informação Geográfica.

Abstract: The present study aimed to map the classes of land use and their respective conflicts in Areas of Permanent Preservation (APPs) in Barra Seca Basin Stream, located in Guaianás district, in Pederneiras / SP. The study area is geographically located between the coordinates 48 º 55 ' 17 "to 48 º 50' 43 " longitude W Gr and 22º 23' 40" to 22º 17' 06"S latitude, with an area of 3937.59ha. For cartographic support, the planialtimetric digital map was used, published by Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE (1973) referring to Agudos (SF -22 - ZB - II - 3), scale 1:50.000. The satellite image, bands 3, 4 and 5 of Landsat - 5 TM sensor (Thematic Mapper), from July 24, 2011, orbit 221, paragraph 75, with spatial resolution of 30 x 30 meters, provided by the National Institute for Space Research INPE were used.The Geographic Information System (GIS) used was IDRISI Selva and the software was CartaLinx. This work had the environmental legislation as legal support, specifically, the Federal Law No. 12.651/12, with changes made by Federal Law No. 12.727/12. The land uses in Barra Seca Basin Stream are riparian vagetation, forest, pastures, reforestation, sugar cane, eucalyptus, dam, paved roads, urban areas, sheds and others, leisure, other cultures and cemetery, and the most significant uses refer to sugar cane (1960.29ha) representing 49.81% of total Basin Stream, followed by reforestation (1025.01ha) and pastures (405.63ha). As Areas of Permanent Preservation, it was found that they have not been fully preserved according to the legislation; only 93.57ha (53.90% of total APPs) are preserved. Thus, the study of a particular stream basin becomes an important tool in order to understanding its dynamics in relation to the land use, in addition to recognizing the existing inter-relationships between the various elements and processes that operate at their limit and characterize their environmental problems.

Keywords: Permanent Preservation Areas, Land Use Mapping, Environmental Legislation, Geographic Information Systems.

1. INTRODUÇÃO

A ocupação do Brasil caracterizou-se pela falta de planejamento e consequentemente a destruição dos recursos naturais, devido à falsa idéia de que esses recursos eram inesgotáveis. Estimulou assim o chamado “desenvolvimento” desordenado, sem compromisso com o futuro (MARQUES; BARBOSA, 2006).

Frente a isso, tem-se as Áreas de Preservação Permanente (APP) que estão submetidas a grandes extensões de degradação devido à intensificação das pressões antrópicas sobre o ambiente, desta forma observa-se um processo de substituição das paisagens naturais por outros usos e ocupações do solo e a conversão das áreas com cobertura florestal em fragmentos florestais, causando problemas ambientais e, em muitos casos, afetando a disponibilidade de recursos naturais importantes à vida (ARES, 2006).

Assim, estudos de bacias hidrográficas, tornam-se cada vez mais necessária a análise das Áreas de Preservação Permanente (APPs). Para Boin (2005), a existência de conflitos entre uso e ocupação e o descumprimento da legislação nessas áreas coloca em risco a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, devido à dinâmica fluvial e ao escoamento superficial da água.

Para tais diagnósticos quanto ao uso e ocupação do solo e em Áreas de Preservação Permanente, tem-se a utilização das geotecnologias que permitem fazer uma análise integrada do ambiente de forma a entender como questões relacionadas às alterações ambientais se comportam no espaço, esse é um dos pontos fortes permitindo que o ambiente seja estudado em parte e entendido como um todo (PIRES et al., 2012).

Segundo Rosa (2005), as geotecnologias se baseiam na coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. As geotecnologias são compostas por soluções em hardware, software peopleware que juntas constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões. Dentre as geotecnologias destacam-se os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global, Geoestatística, entre outras.

A característica principal dos SIGs é a localização geográfica do fenômeno, baseando-se no sistema de coordenadas geográficas sobre o qual o registro é

geocodificado, permitindo assim, a expressão da territorialidade e da topologia dos dados ambientais (TORNERO, 2000).

Para dar suporte as análises, tem-se legislação ambiental brasileira que está entre as mais completas e avançadas do mundo, seu desenvolvimento está de acordo com a importância que a preservação do meio ambiente vem ganhando já que a questão ambiental é uma das mais discutidas na atualidade por exercer impacto direto na qualidade de vida dos seres vivos (GARCIA, 2011).

A legislação ambiental brasileira procura atender as necessidades de um país que apresenta um processo de urbanização e expansão de fronteiras agrícolas desordenados. Nele, os fundamentos lógicos para a conservação do patrimônio florístico e o estabelecimento de regras para seu uso, incorporam uma percepção antropocêntrica de proteção à vida e das atividades produtivas, em perpetuidade (SILVA et al., 2011).

Sob essa perspectiva, estudar a Lei nº 12.727 é de fundamental importância já que pode ser tratada como o primeiro passo quando se fala em gestão ambiental e sustentabilidade. Esta Lei, em seu art. 1º "estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, Áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos" (BRASIL, 2012).

Com base nesse contexto, a presente pesquisa foi realizada na bacia hidrográfica do córrego Barra Seca com uma área de 3937,59 hectares, localizada no distrito de Guaianás, município de Pederneiras, estado de São Paulo.

Este município teve na agricultura um grande incentivo para seu desenvolvimento e a partir da década de 70 a cana-de-açúcar tornou-se a principal cultura. A agricultura baseia-se, principalmente, na cana-de-açúcar, seguida da silvicultura, citricultura, pastagens, cafeicultura, leguminosas e gramíneas em geral; no setor pecuário, destaca-se o rebanho de gado de corte, gado leiteiro, suinocultura e avicultura para postura e corte. Sua economia predominante é então, a cultura da cana-de-açúcar, indústria metalúrgica e de implementos agrícolas.

Neste contexto, o presente trabalho objetivou avaliar os diversos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica em questão, com ênfase nas Áreas de Preservação Permanente hídricas (cursos d'água e nascentes) com o intuito de identificar a ocorrência de conflitos de uso e ocupação do solo, mediante a combinação de Sistemas de Informações Geográficas e da legislação ambiental brasileira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do córrego Barra Seca localiza-se no distrito de Guaianás, município de Pederneiras, região central do estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas 48º 55’ 17” a 48º 50’ 43” de longitude W Gr. e 22º 23’ 40” a 22º 17’ 06” de latitude S e está inserida na bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré que compreende a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI - 13) do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo.

O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Aw sendo definido como tropical chuvoso com inverno seco e frio e predominância de chuvas no verão; a temperatura média anual é de 22,5°C e precipitação média anual de 1173,8 mm, com altitude de 485 metros (CEPAGRI, 2013). Geologicamente a área de estudo se insere na unidade geotectônica denominada Bacia Sedimentar do Paraná.

Para atingir o objetivo proposto neste trabalho, foi necessária a criação de um banco de dados georreferenciado com arquivos e imagens representando planos de informação de interesse a partir dos mapas de rede de drenagem e uso e ocupação do solo. O SIG utilizado para a criação do banco de dados georreferenciado, tratamento, análise dos dados espaciais e visualização de imagem foi o IDRISI SELVA.

Para o apoio cartográfico, utilizou-se a carta planialtimétrica em formato digital, editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1973) referente a folha de Agudos (SF-22-Z-B-II-3), sendo o sistema de referência o Córrego Alegre (antigo *datum* planimétrico brasileiro), em escala 1:50.000 com equidistância das curvas de nível de 20 metros onde obteve-se os pontos de

controle (coordenadas) para o georreferenciamento e a altimetria para digitalização do limite da bacia hidrográfica.

A imagem de satélite utilizada foi do Landsat - 5, sensor TM (*Thematic Mapper*), de 24 de julho de 2011, da órbita 221, ponto 75, com resolução espacial de 30 x 30 metros, operando em sete bandas espectrais das quais, para este trabalho, utilizaram-se três bandas (3, 4 e 5),pois estas apresentam uma melhor visualização na discriminação dos alvos. As imagens foram obtidas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A primeira etapa consistiu no georreferenciamento da carta planialtimétrica do IBGE e posteriormente, com base nessa, das bandas 3, 4 e 5 da imagem de satélite, ambas foram realizadas no IDRISI, menu *Reformat/Resample.*

Após o georreferenciamento das bandas, efetuou-se o recorte pela opção *Reformat/Window* extraindo assim apenas a área da bacia. Com as bandas das imagens georreferenciadas, foi realizado o processo de composição da imagem RGB (Red, Green, Blue), respectivamente as bandas 5, 4 e 3, utilizando-se da função *Composite* do menu *Display* do IDRISI.

Em seguida, a carta topográfica e a composição foram exportados para o software CartaLinx - comando *File/Image Conversions* e posteriormente começou-se a delimitar os elementos (*coverages*) - limite e rede de drenagem pela carta topográfica e delimitação dos usos do solo na composição - sendo que, para o limite e os usos foram criados polígonos, enquanto que, para a rede de drenagem, linhas. Uma *coverage* representa uma coleção de feições geográficas e seus atributos (HAGAN; EASTMAN; AUBLE, 1998).

No IDRISI, definiram-se as Áreas de Preservação Permanente ao longo dos cursos d’água e ao redor das nascentes do córrego Barra Seca. Os buffers foram criados no menu *GIS Analysis*, ferramenta *Distance Operators - BUFFER.* Para isso, foi necessário repetir esse passo duas vezes, sendo uma para os cursos d'água e o outro para a nascente.

Assim, proporcionou a criação de um *buffer* de raio de 50 metros circulando as áreas das nascentes e um *buffer* de 30 metros de cada lado da margem na drenagem ao longo do leito do córrego (medidas estas estipuladas pela Lei Florestal

n°12.727, sendo que a largura das redes de drenagens presente na área estudada são inferiores a 10 metros) resultando no mapa de APPs.

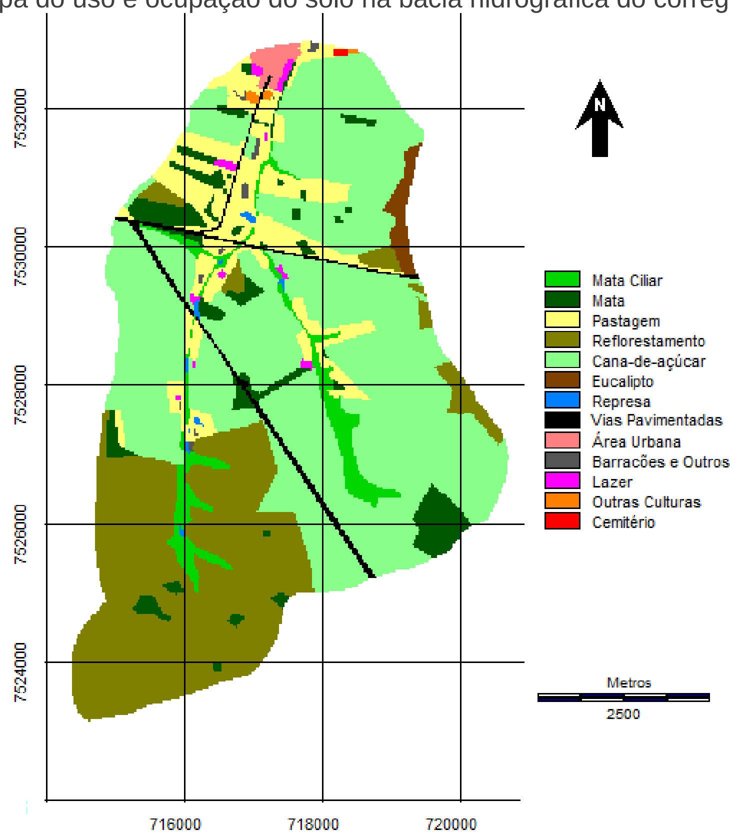
Para identificar as áreas de conflitos de uso do solo em Áreas de Preservação Permanentes, utilizou-se a álgebra de mapas realizando uma sobreposição do mapa de uso e ocupação do solo com o mapa das APPs. Os procedimentos foram executados no IDRISI utilizando-se a ferramenta *Mathematical Operators - OVERLAY* do menu *GIS Analysis* e selecionou-se a opção matemática *First x Second,* operação essa que pode também ser denominada de sobreposição.

Após a sobreposição desses mapas, as áreas de ocorrência dos conflitos de acordo com as classes de uso foram devidamente quantificadas, executando as funções de cálculo de área, pela ferramenta *Area* do menu *Database Query*, pertencente ao módulo *Analysis* do IDRISI. Foram consideradas sob uso conflitante as áreas cultivadas e ocupadas com outros fins presentes nas APPs das nascentes e cursos d´água.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa do uso e ocupação atual do solo da bacia, Figura 1 e Tabela 1, obtido pela interpretação da imagem de satélite permitiu identificar treze (13) classes de uso e ocupação do solo: mata ciliar, mata, pastagem, reflorestamento, cana-de-açúcar, eucalipto, represa, vias pavimentadas, área urbana, barracões e outros, lazer, outras culturas e cemitério.

Figura 1: Mapa do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do córrego Barra Seca



Fonte: Os autores

Tabela 1: Distribuição das áreas e porcentagens de uso e ocupação do solo

Classes de Uso e Ocupação do Solo	**Área**	
	ha	**%**
Mata Ciliar	152,64	3,87
Mata	211,86	5,38
Pastagem	405,63	10,30
Reflorestamento	1025,01	26,03
Cana-de-açúcar	1960,29	49,81
Eucalipto	40,32	1,02
Represa	9,81	0,25
Vias Pavimentadas	39,93	1,01
Área Urbana	56,37	1,43
Barracões e Outros	9,90	0,25
Lazer	18,72	0,48
Outras Culturas	5,22	0,13
Cemitério	1,89	0,04
Total	**3937, 59**	**100**

Fonte: Os autores

Os valores de área obtidos em hectares (ha) e porcentagem (%) Tabela 1, demonstraram que a cultura da cana-de-açúcar apresentou o maior uso, 1.960,29ha (49,81%) da área da bacia, seguido pelo reflorestamento com 1.025,01ha (26,03%) e pastagem com 405,63ha (10,30%).

Sobre a cultura de cana-de-açúcar, percebe-se que vem ocorrendo seu avanço e apresenta-se distribuída em áreas relativamente extensas, recortadas por carreadores. Esta cultura é uma das alternativas encontradas pelos agricultores para sair da crise econômica, por isso, arrendam a terra para a monocultura da cana-de-açúcar e com isso, não precisam se preocupar com preparos das culturas. Assim, tal atitude contribuiu para que extensas áreas da bacia hidrográfica do córrego Barra Seca tenha sido transformada em monocultura de cana-de-açúcar, ocorrendo uma alteração considerável na paisagem.

As áreas de pastagem (405,63ha) compreendem as áreas cobertas por gramíneas, plantas graminóides, arbustos e árvores dispersas, onde a pastagem foi sendo introduzida artificialmente com plantações de forrageiras, sendo que, a atividade mais frequente associada a esta forma de uso e ocupação do solo é a criação extensiva de gado.

Na bacia hidrográfica do córrego Barra Seca, as atividades antrópicas têm causado impactos ao meio natural principalmente pela retirada da vegetação, como por exemplo, assoreamento, desbarrancamento das margens dos córregos (ausência da mata ciliar), erosão laminar (excesso de águas pluviais provenientes da rodovia estadual devido a sua duplicação).

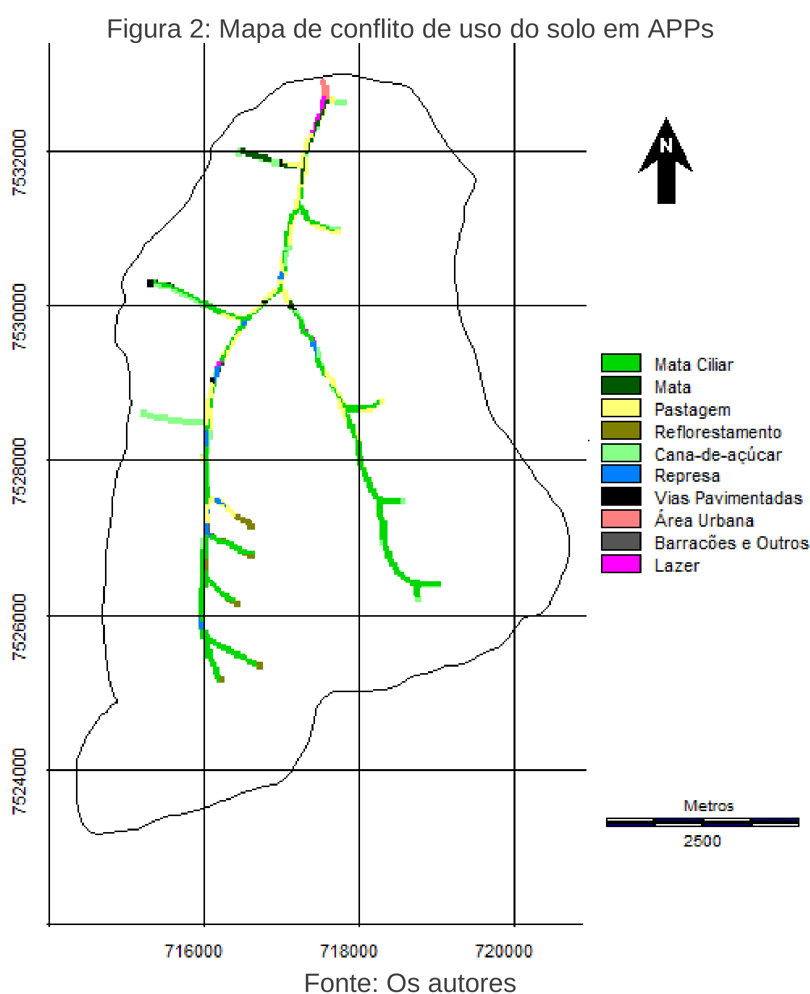
Outra questão que merece atenção são as Áreas de Preservação Permanente. Além da existência dessas faixas de preservação permanente, é essencial que esteja coberta por vegetação já que as matas ciliares são importantes, pois reduzem o transporte de material nos cursos d'água, o assoreamento em suas margens, minimizam os processos erosivos, auxiliam na manutenção e preservação da biodiversidade, entre outros.

A microbacia possui uma área total de preservação permanente relativa à 173,61ha, dos quais 7,20ha (4,15%) são compostas por áreas de nascentes e 166,41ha (95,85%) Áreas de Preservação Permanente ao longo dos cursos d’água.

Apesar da importância, e de serem preservadas por lei, as matas ciliares vêm sendo alvo das atividades antrópicas, diante dos interesses conflitantes de uso e ocupação do solo, ocasionando a sua supressão ao longo dos cursos d'água. Da área total das Áreas de Preservação Permanentes, apenas 93,57ha (53,90%) estão sendo utilizadas da maneira correta (de acordo com a legislação), ou seja, estão preservadas e cobertas por vegetação (Figura 2).

Porém, quanto ao cumprimento da legislação ambiental, principalmente no que se refere à proteção dos cursos d'água com base na Lei Florestal, verifica-se que a bacia hidrográfica do córrego Barra Seca apresenta uma realidade diferente da que está prevista na legislação, apesar da necessidade de preservação da vegetação natural ao redor das nascentes e ao longo dos rios, existe um desrespeito às normas, já que algumas áreas, não estão de acordo com a metragem estipulada pela base legal.

Figura 2: Mapa de conflito de uso do solo em APPs



Fonte: Os autores

As áreas de conflito de uso foram consideradas as áreas alteradas por ações antrópicas, sendo elas, as classes de pastagem, reflorestamento, cana-de-açúcar, vias pavimentadas, área urbana, barracões e outros e lazer.

Considerando as classes de uso e ocupação do solo como características de atividades antrópicas ou não, e obtendo o percentual das APPs por essas classes, foi possível estabelecer os valores de ocupação das APPs em cada tipo de uso do solo (Tabela 2). Partindo-se do pressuposto de que, conforme a legislação vigente, os valores de conflito de uso do solo em APP deveriam ser iguais à zero.

Tabela 2: Distribuição das áreas e porcentagens de conflitos de uso do solo em APPs

Classes de uso da Terra	**APPs**		**Conflitos**	
	ha	**%**	**ha**	**%**
Mata Ciliar	78,27	45,08	-	-
Mata	8,37	4,82	-	-
Pastagem	39,33	22,65	39,33	49,14
Reflorestamento	6,66	3,84	6,66	8,32
Cana-de-açúcar	26,04	15,00	26,04	32,53
Represa	6,93	3,99	-	-
Vias Pavimentadas	2,43	1,40	2,43	3,04
Área Urbana	2,07	1,19	2,07	2,59
Barracões e Outros	0,54	0,31	0,54	0,67
Lazer	2,97	1,71	2,97	3,71
Total	**173,61**	**100**	**80,04**	**100**

Fonte: Os autores

No que se refere ao uso irregular das APPs, há o predomínio de pastagens, com 39,33 hectares o que representa 49,14% do total de conflitos em APPs, Tabela 2. Este uso é prejudicial, pois alguns produtores rurais desrespeitam as leis para que o gado tenha acesso ao rio para sua dessedentação.

A cana-de-açúcar que é a cultura mais expressiva na área de estudo ocupa 26,04ha (32,53%) do conflito nessas Áreas de Preservação Permanente tal fato, pode ser de responsabilidade dos proprietários rurais - que utilizam para consumo animal - ou das grandes usinas, responsáveis por muitas das propriedades rurais na bacia hidrográfica em estudo.

Não muito significante em termos quantitativos tem-se as classes de lazer com 2,97ha (3,71%), as vias pavimentadas 2,43ha (3,04%), área urbana 2,07ha (2,59%) e barracões e outros com 0,54ha (0,67%) dos usos com conflitos nas Áreas de Preservação Permanente.

Com base nesses valores, percebe-se que o aumento da degradação ambiental está relacionado com a falta de planejamento da terra que não suporta a capacidade de uso do solo, seja em áreas rurais ou urbanas.

Desta forma, para concluir, quanto a situação da bacia hidrográfica do córrego Barra Seca, enfatiza-se a necessidade de estudos para que as situações apresentadas anteriormente sejam alteradas por meio de práticas de preservação e conservação do meio ambiente de maneira a integrar no contexto jurídico.

4. CONCLUSÃO

Os usos e ocupações do solo na bacia hidrográfica do córrego Barra Seca são predominantemente agrícolas, sendo que sua dinâmica apresenta-se muito ligada ao contexto regional onde predomina a cultura da cana-de-açúcar e da pastagem.

Pode-se afirmar que na bacia hidrográfica do córrego da Barra Seca tem a predominância de áreas agrossilvo-pastoris, pois apresentam combinações de agricultura, silvicultura e pecuária.

Constatou-se, que as Áreas de Preservação Permanente (173,61ha) da bacia hidrográfica estudada não estão totalmente preservadas conforme legislação pertinente – Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012 – e que estas vêm sendo ocupadas principalmente por pastagem (39,33ha) e cana-de-açúcar (26,04ha).

REFERÊNCIAS

ARES. Atlas das áreas com potencial de riscos do Estado do Espírito Santo. Vitória: Imprensa Estadual, 2006, 125p.

BRASIL. Lei n º 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 out. 2012. 2012a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm> Acesso em: 13 jul. 2013.

BOIN, M. N. Áreas de Preservação Permanente: Uma visão prática. In: Centro de Apoio Operacional de Urbanismo e Meio Ambiente. (org.). Manual Prático da Promotoria de Justiça do Meio Ambiente. 1 ed. São Paulo: Impressa Oficial do Estado de São Paulo, 2005.

CEPAGRI. Unicamp. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura: Clima dos Municípios Paulistas. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_563.html>. Acesso em: 23 jul. 2013.

GARCIA, Y. M. Aplicação do Código Florestal como Subsídio para o Planejamento Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego do Palmitalzinho - Regente Feijó - São Paulo. Trabalho de conclusão (Bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente: [s.n], 2011, 145 f.

HAGAN, J. E; EASTMAN, J. R.; AUBLE, J. CartaLinx. The Spatial Data Builder. User's Guide. Version 1.0. Clark Labs. Clark University. 201p. 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta topográfica: Folha de Agudos (SF-22-Z-B-II-3). Serviço gráfico do IBGE, 1973. Escala 1:50.000.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Geração de Imagens (DGI-INPE). Catálogo de Imagens. Disponível em:<http://www.dgi.inpe.br/>. Acesso em: 15 abr. 2013.

MARQUES, M. C. V.; BARBOSA, L. M. Manual para recuperação de áreas degradadas em matas ciliares do estado de São Paulo. Apresentação. FAPESP / IBT / GEF: Marília, 2006.

PIRES, E. V. R.; SILVA, R. A.; IZIPPATO, F. J.; MIRANDOLA, P. H. Geoprocessamento Aplicado a Análise do Uso e Ocupação da Terra para Fins de Planejamento Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego Prata – Três Lagoas (MS). Revista Geonorte, Edição Especial, v.2, n.4, p.1528 – 1538, 2012.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. Revista do Departamento de Geografia, 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: <http://www.cchla.ufrn.br/geoesp/arquivos/artigos/ArtigoAmbienteGeotecnologias.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2013.

SILVA, J. A. A.; NOBRE, A. D.; MANZATTO, C. V.; JOLY, C. A.; RODRIGUES, R. R.; SKORUPA, L. A.; NOBRE, C. A.; AHRENS, S.; MAY, P. H.; SÁ, T. D. A.; CUNHA, M. C.; RECH FILHO, E. L. O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso para o diálogo. SBPC; Academia Brasileira de Ciências, ABC, 2011, 124p. Disponível em: < http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-547.pdf >. Acesso em: 19 out. 2013.

TORNERO, M. T. Análise ambiental através de sistema de informações geográficas (SIG), como subsídio ao planejamento no município de Maringá - PR. Botucatu, 2000. 184p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

CAPÍTULO 13

GEOMÁTICA APLICADA NA ANÁLISE DO CONFLITO DE USO DO SOLO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Gabriel Rondina Pupo da Silveira
Faculdade de Ciências e Engenharias – UNESP – Tupã, SP
E-mail: gabrielrondina@hotmail.br

Sérgio Campos
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: sergio.campos@unesp.br

Aline Kuramoto Gonçalves
Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: aline.kuramoto@unesp.br

Fernanda Leite Ribeiro
Universidade Estadual de Londrina (UEL) – Londrina – PR
E-mail: flribeiro@yahoo.com

Yara Manfrin Garcia
Faculdade de Ciências e Engenharias – UNESP – Botucatu, SP
E-mail: yaramanfrin@hotmail.br

Resumo: O trabalho visou obter o uso do solo da bacia do rio Araquazinho – São Manuel (SP) utilizando imagem de satélite e técnicas geomáticas na determinação das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e conflitos existentes na área. As bases cartográficas foram cartas planialtimétricas em formato digital georreferenciadas. O SIG-IDRISI Selva foi utilizado para realizar o georreferenciamento da imagem, geração dos buffers de APPs e o overlay para obtenção dos conflitos de uso além da confecção do mapa temático final. No software CartaLinx realizou-se a delimitação da área de estudo e delimitação dos elementos (limite, rede de drenagem e das áreas de uso e cobertura). O uso do solo da bacia mostrou que o uso da cana-de-açúcar foi a classe que ocupou 86,82 % (5815,63 ha) da área. As áreas de conflito mostraram que a maior parte das APPs, equivalente a 109,70 ha, estão sendo usadas para outros fins. As Áreas de Preservação Permanente e seus conflitos mostraram que uma boa parte da área da bacia em estudo precisa de cuidados com relação a legislação ambiental. Desta forma, o mapa temático permitiu o mapeamento da área gerando dados que auxiliarão nos futuros planejamentos de recuperação da área.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, Geoprocessamento, Preservação Ambiental

Abstract: This study aimed obtaining the land use of the watershed of rio Araquazinho - São Manuel, SP, using satellite image and geomatic techniques to

determine the Permanent Preservation Areas (PPAs) and conflicts in the area. The cartographic bases were the planialtimetrics cards georeferenced. The SIG-IDRISI Selva was used to georeferencing the image, generation of PPAs buffers, in the overlay to obtain the use conflicts and to generate the final thematic map. In the CartaLinx was done the delimitation of the study area and delineation of the elements (limit, drainage network and areas of use and coverage). The soil use showed that the use sugarcane class that was occupied 86.82% (5815,63ha) area. The conflict areas showed that most of the APP, equivalent of 109.70 ha, are being used for other purposes. Permanent Preservation Areas and their conflicts have shown that a big part of the watershed needs to be taken care of in relation to environmental legislation. So, the thematic map allowed the mapping of the area generating data that will assist in future planning recovery area.

Keywords: Geographic Information System, Geoprocessing, Environmental preservation.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem-se aumentado a preocupação mundial a respeito do rápido crescimento da taxa de desmatamento das florestas tropicais e de seu impacto na biodiversidade do planeta. Por este motivo, foram criadas e reformuladas leis de preservação ambiental, com o intuito de evitar a degradação do ecossistema, e promover a conservação do ambiente natural e a manutenção da qualidade de vida, buscando unir a rentabilidade do meio ambiente às práticas agrícolas.

A agricultura é uma das principais formas de utilização dos solos deste país, sendo necessário e de grande importância o levantamento das condições do solo, meio natural básico para a atividade agropecuária.

Assim, deve-se praticar a agricultura de forma consciente, baseando-se na adoção de práticas conservacionistas adequadas a cada tipo de solo, permitindo a longevidade dos mesmos e possibilitando o aumento de sua potencialidade e utilização por gerações futuras.

Segundo Torres e Fabian (2006), o depauperamento dos recursos naturais afeta a saúde dos animais e da humanidade, causando problemas de disponibilidade de água e queda dos níveis de produção agropecuária, o que compromete a economia global e a qualidade de vida da população.

Diversas áreas, como declividades, topos de morros, margens dos recursos hídricos e nascentes dos mananciais, não têm sido devidamente respeitadas, devido ao uso inadequado dos recursos naturais. Esses recursos foram intensamente reduzidos na maioria da Áreas de Preservação Permanente (APPs), em muitos casos, pelo desconhecimento da população e por sua incorreta interpretação do Código Florestal Brasileiro. Conforme observou Silva (1996), as APPs devem estar cobertas por vegetação original, delimitando as áreas impróprias para o uso de terras.

Zakia (2013) definiu as APPs em tipos, levando em consideração suas características naturais e estado físico em que se encontram. Foram subdivididas nos seguintes tipos: Hídrica natural, quando são nascentes, cursos d'água intermitentes ou perenes, lagoas e lagos naturais e veredas; Reservatório, quando encontram-se com reservatórios d’água artificiais, decorrentes de projeto de barragens, vertedores, represamento e obras hidráulicas no geral construídas em

cursos d’água naturais; Relevo, que compreende áreas vegetadas em encostas, bordas dos tabuleiros, chapadas, topo de morros, montes, montanhas e serras; áreas associadas a costeira, ou seja, restingas e manguezais.

Na atualidade, o modelo socioeconômico em que estamos inseridos apresenta grande conflito com o meio ambiente, devido majoritariamente à ausência de ocupação planejada. Neste contexto, o conhecimento das áreas de uso de uma determinada região, além de possibilitar o direcionamento adequado do tipo de manejo, permite identificar possíveis problemas acarretados pelo efeito das ações antrópicas sobre essas regiões, tendo relação direta com a conservação e a exploração sustentável dos recursos naturais. Ao mesmo tempo, o planejamento adequado da terra deve ser realizado constantemente para que a degradação não ocorra ou, ao menos, seja diminuída nessas áreas, principalmente das APPs.

Assim, este estudo objetivou-se na utilização de informações provenientes de sensores remotos orbitais, imagens de satélite, processadas em plataforma SIG, para o mapeamento de uso da terra em áreas de APPs, permitindo as suas delimitações e diagnóstico de possíveis intervenções antrópicas, contribuindo para futuras fiscalizações ambientais, de acordo com a Lei Federal N°12.727, de 17 de outubro de 2012, conhecida como Código Florestal Brasileiro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do rio Araquazinho está localizada no município de São Manuel (SP), situada geograficamente entre os paralelos 22º 33’ a 22º 42’ de latitude sul e os meridianos 48º 27’ a 48º 34’ de longitude W Gr, apresentando uma área total de 6698,12 hectares.

Como fontes de informações sobre a área em estudo foram utilizadas as cartas planialtimétricas, em formato digital, editadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, folhas de São Manuel (SF-22-Z-B-V-2) e Barra Bonita (SF-22-Z-B-VI-1), em escala 1:50000, cartas estas que abrangem a área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho necessárias para o georreferenciamento e digitalização do limite da bacia, imagem de satélite digital, bandas RGB (R- Red; G-Green; B- Blue), referentes às bandas 6, 5 e 4 do sensor OLI – Operational Land Imager do LANDSAT – 8, da órbita 220, ponto 76, quadrante A, passagem de 2014,

escala 1:50000, na delimitação e classificação supervisionada em tela dos usos presentes na bacia hidrográfica, além da sua quantificação.

Para o processamento dos dados, utilizou-se um microcomputador processador Intel Inside CORE i7, 1,80 GHz, com sistema operacional de 64 bits, HD 1TB, 8GB de memória RAM. Para entrada das informações analógicas, como limite da bacia hidrográfica e áreas de cobertura vegetal, foi utilizado o Scanner Genius Vivid Pro II.

O sistema de informações geográficas - IDRISI Selva foi usado no processamento das informações georreferenciadas, na conversão dos dados vetoriais em imagem raster e na elaboração do mapa final do uso da terra.

O software CartaLinx foi utilizado na digitalização do limite da bacia hidrográfica, rede de drenagem e áreas de cobertura vegetal, obtidas através de imagens de satélite.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

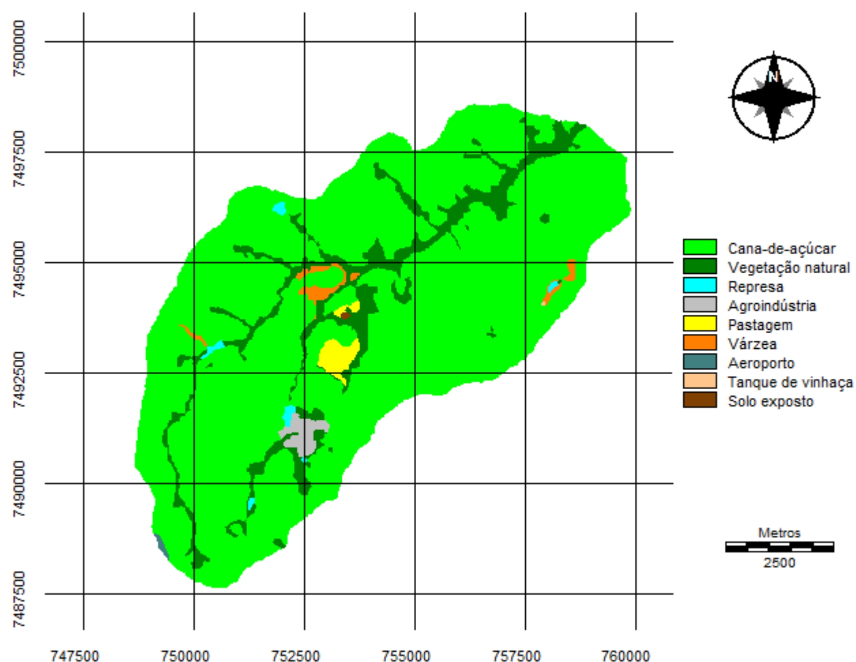
No município de São Manuel, desde sua fundação em 1870, sempre houve um aproveitamento agrícola, sendo que sua economia foi baseada na agricultura, principalmente a cultura de café e cana-de-açucar (IBGE, 2016).

A partir da análise do mapa de uso e ocupação do solo, até os dias atuais, a agricultura é predominante no município.

Por meio da composição das bandas 6,5 e 4 em RGB obtidas a partir da imagem de satélite digital, foi possível discriminar, mapear e quantificar 9 feições na bacia hidrográfica do rio Araquazinho, por meio da classificação digital em tela (verdade terrestre) (Figura 1 e Tabela 1), que mostra a realidade do uso da área.

O SIG- IDRISI permitiu classificar as classes de uso discriminadas, representadas por: cana-de-açúcar, vegetação natural, represa, agroindústria, pastagem, várzea, aeroporto, tanque de vinhaça e solo exposto. (Figura 1).

Figura 1: Uso e ocupação do solo da bacia do rio Araquazinho – São Manuel, SP obtida pela imagem de satélite de 2014



Fonte: Os autores

Tabela 1: Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP

Uso do Solo	**2014**	
	Imagem de Satélite	
	ha	**%**
Cana-de-açúcar	5815,63	86,82
Vegetação Natural	660,82	9,87
Represa	30,39	0,45
Agroindústria	56,94	0,85
Pastagem	63,39	0,95
Várzea	60,36	0,90
Aeroporto	7,05	0,11
Tanque de Vinhaça	0,79	0,01
Solo exposto	2,74	0,04
TOTAL	6698,12	100

Fonte: Os autores

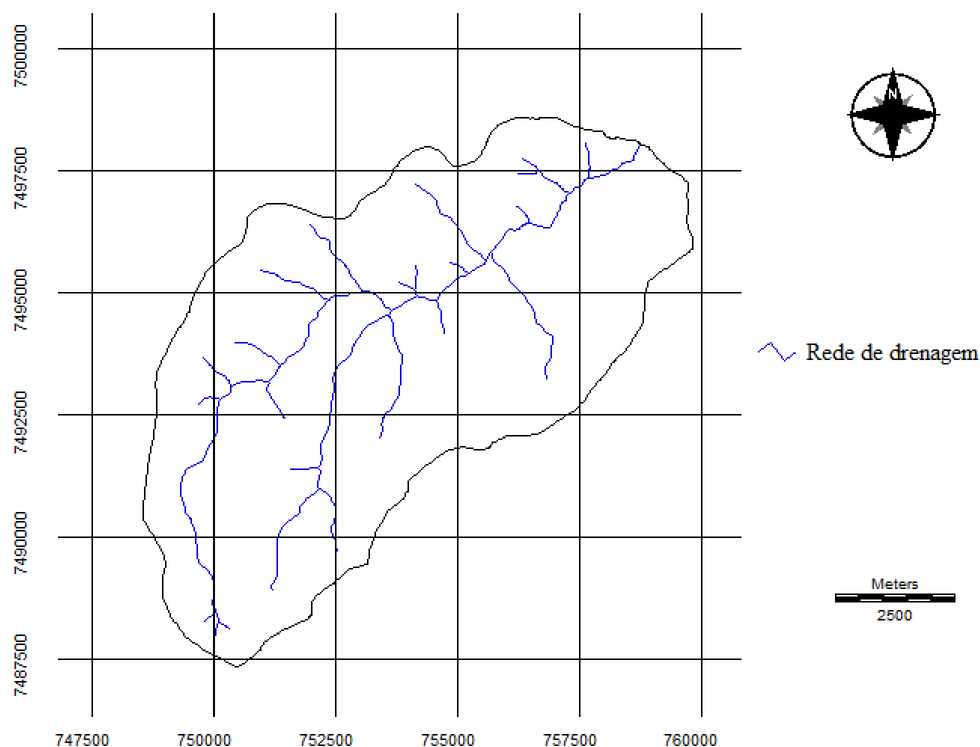
Por meio da análise do uso do solo (Figura 1 e Tabela 1) evidenciou-se que a cana-de-açúcar é a cultura que ocupa a maior parte da área, representando 86,82 % (5815,63 ha), sendo o restante da bacia (882,49 ha ou 13,18%) ocupado por vegetação natural (9,87%), represa (0,45 %), agroindústria (0,85 %), pastagem (0,95

%), várzea (0,90 %), aeroporto (0,11 %), tanque de vinhaça (0,01 %) e solo exposto (0,04 %). Conforme o código florestal, várzea pode ser destinada para reserva legal e APP, assim como a vegetação natural. Assim, na área em questão, os usos várzea e vegetação natural ocupam 721,18 ha (10,77 %) do total da bacia hidrográfica.

Os dados obtidos permitiram também analisar a respeito da preservação ambiental da bacia do rio Araquazinho, que apresenta 10,77 % da área, sendo que de acordo com o Código Florestal, a reserva mínima de florestas deve ser de 20 % com cobertura arbórea da área de cada propriedade.

A partir da vetorização dos cursos d'água, obteve-se o mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Araquazinho (Figura 2), sendo este de fundamental importância para os cálculos das características físicas.

Figura 2: Rede de drenagem da bacia do rio Araquazinho – São Manuel, SP e Barra Bonita-SP

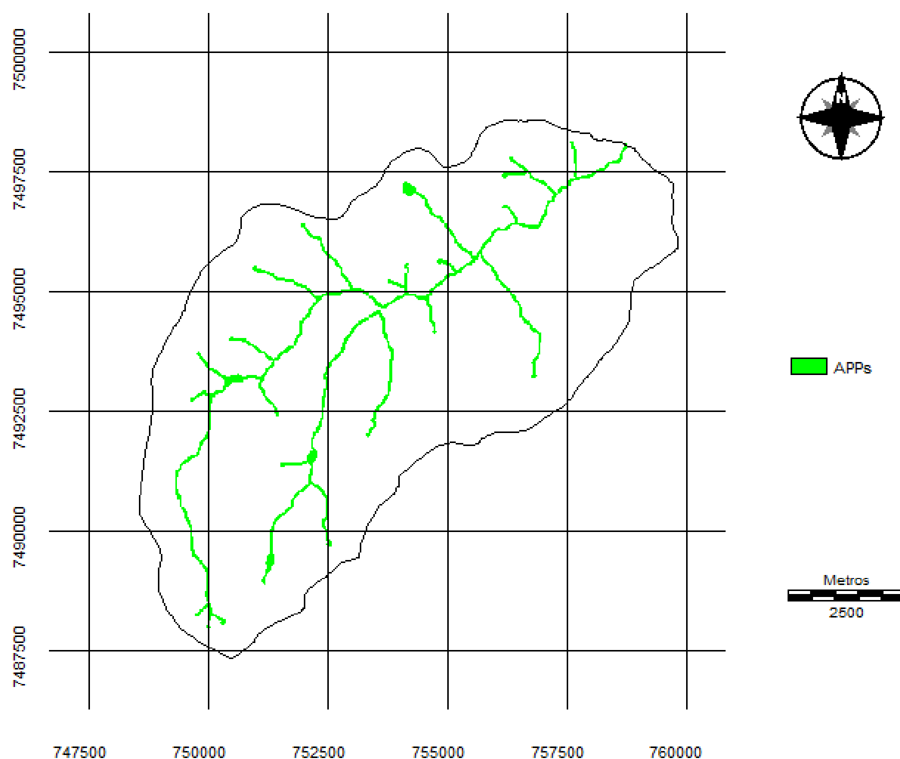


Fonte: Os autores

Após a delimitação da rede de drenagem, foram estabelecidas as APPs (Áreas de Preservação Permanente) da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, a partir da ferramenta buffer do software Idrisi, sendo quantificada essa área, que corresponde a 303,22 ha (4,53%) de toda a área da bacia (Figura 3).

Destes 303,22 ha de APPs, 11,09 ha (3,66 %) correspondem a nascentes e 292,13 ha (96,34 %) a cursos d'água.

Figura 3: Áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água e ao redor das nascentes da bacia



Fonte: Os autores

Após o término do mapa de APPs, agora com os cursos d´água e as nascentes, cada qual com sua metragem correta de preservação, segundo a legislação ambiental vigente, cruzou-se o mapa de APP (Figura 3) com o mapa de uso e ocupação do solo (Figura 1), para verificar os usos incorretos nas APPs, resultando assim no mapa de uso e ocupação do solo em APPs (Figura 4).

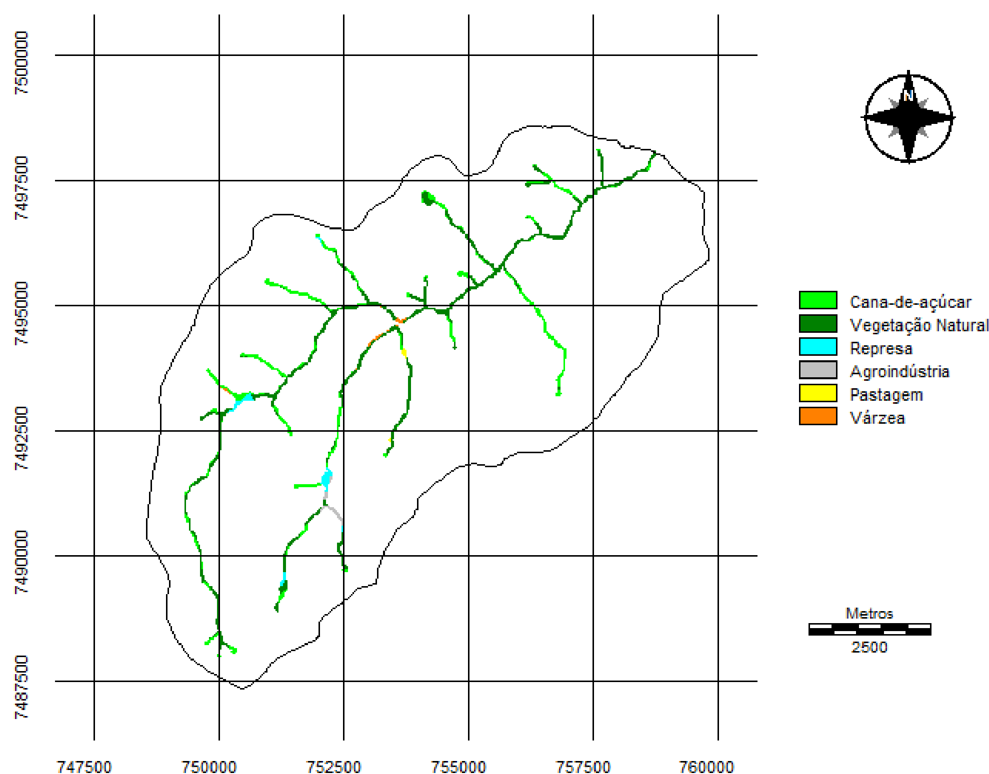
A cobertura vegetal apresenta importante objetivo para a preservação de recursos naturais como o solo, atuando como proteção contra agentes erosivos.

Segundo Pollo (2013), a preservação ambiental é um grande desafio que exige não só das autoridades responsáveis, mas também da ação conjunta e consciência das comunidades que englobam o território.

O mesmo destacou Garcia (2014), ao afirmar que o planejamento ambiental é um resultado do aumento da competição da busca de recursos naturais, sendo fatores determinantes na organização do uso da terra, a fim de tornar compatível a

utilização com a proteção de ambientes ameaçados e de melhorar a qualidade de vida da população.

Figura 4: Áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água e ao redor das nascentes da bacia



Fonte: Os autores

Silveira et al. (2013) destacaram que a fiscalização da aplicação da lei se faz importante para que os recursos naturais sejam preservados, já que estão cada vez mais escassos e competitivos.

O início do trabalho de proteção de áreas dos ecossistemas naturais de um determinado ambiente, no território brasileiro, data do ano de 1605, quando surgiu a primeira lei de cunho ambiental no país voltado à proteção das florestas, denominada de Regimento do Pau Brasil.

Segundo Aguiar e Pinho (2007), desse regimento constava uma série de medidas rigorosas e restritivas, criadas para regular e racionalizar o corte e o comércio do pau-brasil; sua determinação era de que ninguém poderia cortar sem licença expressa do provedor da fazenda, sob pena de morte e confisco dos bens.

Tabela 2: Uso do solo nas APPs da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP

Uso do solo	**Uso do solo em APPs**	
	ha	%
Cana-de-açúcar	103,33	33,75
Vegetação Natural	175,13	57,76
Represa	14,14	4,66
Agroindústria	5,78	1,91
Pastagem	1,59	0,53
Várzea	4,25	1,40
TOTAL	303,22	100

Fonte: Os autores

A Figura 4 e a Tabela 2 mostram as áreas de uso e ocupação do solo em APP, onde uma grande parte das Áreas de Preservação Permanentes (109,70 ha) está sendo usada para fins que não podem ser considerados de preservação, como: 33,75 % com cana-de-açúcar, 1,91 % com agroindústria e 0,53% com pastagem. Do restante da área, 57,76% vem sendo preservada com vegetação natural, e ocupada com represa (4,66 %) e várzea (1,40 %), sendo que estas não são conflitantes, diferentes daquelas citadas anteriormente.

Com base no estudo dos usos e ocupação em APPs foi possível observar que áreas que deveriam ser ocupadas apenas por mata ciliar (303,22 ha) estão sendo ocupadas para outros fins. Conforme observamos na Tabela 8, 36,19 % (109,73 ha) do total das APPs estão sendo ocupadas por usos que não são de vegetação natural, como 103,33 ha de cana-de-açúcar (33,75 %) principalmente e 5,78 ha de agroindústria (1,91 %).

Esses dados comprovam como a agricultura é importante na região e no estado de São Paulo, principalmente com a cultura de cana-de-açúcar, que foram implantadas, em sua maioria, nos relevos planos do estado nos últimos 40 anos, devido ao alto retorno econômico da cultura, desde a implantação do programa Proálcool, quando houve incentivo do governo, devido à crise do petróleo.

Essas plantações foram implantadas em locais planos, com bons solos, ou seja, favoráveis para a cultura, porém muitas vezes, por legislações de outrora, ou compensações ambientais em outras localidades, a qual é permitida pela legislação, apresentam-se em dissonância com a legislação ambiental atual, quando a área é vista individualmente.

Os usos e ocupações da área em estudo e da maioria das áreas agrícolas brasileiras datam de anos atrás, anteriores a legislação ambiental, e muitos usos se fazem consolidados. Assim, com o avanço da legislação ambiental brasileira, propostas de conservação sem afetar a economia vem sendo oferecidas para os produtores.

4. CONCLUSÃO

Os dados obtidos nesse estudo, permitiu-se concluir que a bacia hidrográfica do rio Araquazinho precisa de alguns cuidados em relação a Legislação Ambiental Brasileira, principalmente com relação às suas APPs, que necessitam de planos de recuperação ambiental.

A imagem de satélite e os sistemas de informações geográficas demonstraram ser excelentes ferramentas, em função da facilidade e rapidez para o mapeamento, e, dessa forma, permitem de forma simples e eficiente a elaboração de mapas digitais, fornecendo resultados confiáveis, que poderão ser utilizados para toma de decisão em futuros planejamentos de conservação e projetos ambientais da área. Assim, a metodologia se mostrou eficaz na elaboração do estudo, servindo como subsídio para futuros trabalhos em outras áreas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, F. F. A.; PINTO, M. M.; TAVARES, A. R.; KANASHIRO, S. Maturação de frutos de Caesalpinia echinata Lam., pau-brasil. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.1, p.1-6, 2007.

BRASIL. **Lei n º 12.727**, de 17 de outubro de 2012. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm> Acesso em: 22 dez. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta topográfica:** São Manuel (SF-22-Z-B-V-2). Serviço gráfico do IBGE, 1973. Escala 1:50.000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta topográfica:** Barra Bonita (SF-22-Z-B-VI-1). Serviço gráfico do IBGE, 1974. Escala 1:50.000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados dos municípios.** 2006. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/saopaulo/saomanuel.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2019.

GARCIA, Y. M. **Conflitos de uso do solo em APPs na Bacia hidrográfica do córrego Barra Seca (Pederneiras/SP) em função da legislação ambiental.** 2014. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

POLLO, R. A. **Diagnóstico do uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso no município de São Manuel (SP), por meio de geotecnologias.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SILVA, E. Código Florestal Brasileiro: função e áreas de preservação permanente. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 4, 1996, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte: 1996. p.48.

SILVEIRA, G.R.P.; CAMPOS, S.; PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F. M.; GARCIA, Y.M.; CAMPOS, M. de; FELIPE, A.C.; SILVA; C.O.; POLONIO, V.D.; PARIZOTO, N.M.S.F. Geoprocessamento Aplicado na espacialização da Capacidade de 62 Uso do Solo para fins de Planejamento Conservacionista da Microbacia do Córrego São CaetanoBotucatu (SP). XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013. **Anais...** SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE.p.4367-4374.

SILVEIRA, G.R.P. **Geomática aplicada na caracterização conservacionista de uma bacia hidrográfica no município de São Manuel (SP).** 2016. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

TORRES, J.L.R & FABIAN, A.J. **Levantamento topográfico e caracterização da paisagem para planejamento conservacionista de uma microbacia hidrográfica de Uberaba.** Caminhos da Geografia, Uberlândia, v. 6, n. 19, p. 150 – 159, out./2006.

ZAKIA, M. J. B. Atualização Florestal - a Nova Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. In: **Curso realizado pelo Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ).** Nazaré Paulista, 2013.

Agência Brasileira ISBN
ISBN: 978-65-993561-9-3